



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

جامعة قاصدي مرباح - ورقلة

كلية العلوم التطبيقية

قسم الهندسة المدنية و الري



مذكرة مقدمة من أجل الحصول على شهادة الماستر مهني

ميدان : علوم و تكنولوجيا

شعبة : الري

اختصاص : حفر مائي

من إعداد الطالبين : زيارة عبد القيوم أنس و جغوي رضوان

تحت عنوان:

وضع و تسميت أنابيب التبطين و حسابات الإسمنتة
حالة البئر العميقة للألبي-باريمي
بسيدي عمران - ولاية المغير

نوقشت وأجيزت علنا بتاريخ : 2026/06/06

أمام اللجنة المكونة من السيدة و السادة :

رئيسا	ج. ق. م. ورقلة	أ. مح. أ	منصوري. ز
فاحصا	ج. ق. م. ورقلة	أ. مس. أ	براهيمي. ع و
مؤطرا	ج. ق. م. ورقلة	أ. مس. أ	جباري. ح
مساعد	م. م. م. تقرت	م. د	بن ققة. م ص

السنة الجامعية : 2026/2025

إهداء

بسم الله الرحمن الرحيم

الحمد لله الذي بنعمته تتم الصالحات، و وفقني لإتمام هذا العمل المتواضع.

أهدي ثمرة هذا الجهد، و هذه الخطوة التي طالما حلمت بها،

إلى من كانا نور حياتي و سندي بعد الله،

إلى من سهرنا و تعبنا و ضحينا لأصل إلى ما أنا عليه اليوم...

إلى والديّ العزيزين، أطل الله في عمرهما و أدام عليهما الصحة و العافية،

مهما كتبت من كلمات فلن توفيها حقهما، فلهما مني كل الحب و الامتنان و العرفان.

إلى عائلتي الكريمة الذين كانوا دائماً مصدر دعم و قوة و تشجيع،

و الذين شاركوني لحظات التعب قبل الفرح.

إلى أساتذتي الأفاضل الذين حملوا رسالة العلم بكل إخلاص،

إلى أصدقائي و زملائي، الذين رافقوني في رحلة الدراسة،

و إلى كل من ساهم من قريب أو بعيد في إنجاز هذا العمل،

أهديكم هذا الإنجاز المتواضع، راجياً من الله أن يكون بداية لمستقبل مليء بالنجاح و التوفيق.

الحمد لله أولاً و آخرًا.

زيارة عبد القيوم أنس

إهداء

الحمد لله الذي بنعمته تتم الصالحات، و بتوفيقه تُنال الدرجات.

أهدي ثمرة جهدي العلمي إلى من كللهم الله بالوقار، إلى منبع العطاء و سندي في الحياة : والديّ العزيزين،
فجزاهما الله عني خير الجزاء على ما قدّماه من دعمٍ لا ينقطع و دعواتٍ صادقة كانت لي خير زاد.
و إلى نبض الفؤاد و رفاق الدرب، إخوتي و أخواتي، الذين استمددت منهم العزيمة و الإصرار.
و إلى أصدقائي و زملائي الذين شاركوني عناء البحث و شغف المعرفة، و كانت ذكراهم عوناً لي على المضي
قدماً.

أهدي إليكم جميعاً هذا العمل المتواضع، سائلاً الله تعالى أن ينفع به و أن يجعله في ميزان حسناتكم.

جغوي رضوان

شكر وتقدير

الحمد لله العليّ القدير، حمداً يليق بجلاله و عظيم نعمه الظاهرة و الباطنة، على ما أنعم به علينا من توفيق و سداد لإتمام هذا العمل المتواضع.

و وفاءً لأهل الفضل، و اعترافاً بالجميل، نتقدم بخالص الشكر و التقدير إلى الأستاذ : "جباري حسان"، الذي تفضل بقبول الإشراف على هذه المذكرة، و كان خير موجّه و ناصح طوال مراحل إنجازها، بما قدّمه من توجيهات قيّمة، و ملاحظات دقيقة، و نصائح علمية سديدة، إضافة إلى متابعته المستمرة و حرصه الكبير على إخراج هذا العمل في أحسن صورة ممكنة. فجزاه الله عنا خير الجزاء، و بارك له في علمه و عمله، و أدام عليه نعمة النجاح و التوفيق في مسيرته العلمية و الأكاديمية.

كما نتقدم بجزيل الشكر و عظيم الامتنان إلى كافة أساتذة كلية العلوم التطبيقية بجامعة قاصدي مرباح ورقلة، لما بذلوه من جهود علمية و تربوية في سبيل تكوين الطلبة.

و لا يفوتنا أن نتقدم بخالص الشكر و التقدير إلى الأساتذة أعضاء لجنة المناقشة، على تفضلهم بقراءة هذه المذكرة و تقييمها، و ما سيقدمونه من ملاحظات و إضافات قيّمة تثري هذا العمل.

و في الأخير، نتقدم بالشكر إلى كل من ساندنا و رافقنا خلال مسيرتنا الدراسية، و ساهم من قريب أو بعيد في إنجاز هذه المذكرة، راجين من الله تعالى أن تكون عملاً نافعاً و مرجعاً يستفاد منه.

قائمة الجداول

الصفحة	عنوان الجدول	رقم الجدول
61	جدول تلخيص كميات الإسمنت و الماء المستعملة في مراحل التسميت	(01- IV)

قائمة الأشكال

رقم الشكل	عنوان الشكل	الصفحة
(01 - I)	الموقع الجغرافي لولاية المغير.	05
(02 - I)	الموقع الجغرافي لبئر التنقيب العميق (الألبو-باريمي) سيدي عمران (جوجل إيرث).	08
(01 - II)	برج الحفر (نظام روتاري - دوراني).	13
(02 - II)	كتلة البكرة الثابتة.	15
(03 - II)	كتلة البكرة المتحركة .	15
(04 - II)	الخطاف.	16
(05 - II)	آلة السحب و كابل (سلك) الحفر.	16
(06 - II)	المحرك العلوي.	17
(07 - II)	الطاولة الدوارة.	17
(08 - II)	الطاولة الدوارة و العمود المضلع.	17
(09 - II)	قضبان الحفر.	18
(10 - II)	قضبان الحفر الثقيلة.	18
(11 - II)	رأس الحفر : بعض الأمثلة.	18
(12 - II)	مضخات موائع الحفر.	20
(13 - II)	الأنبوب الصاعد.	20
(14 - II)	الغريال الاهتزازي.	20
(15 - II)	فاصل الرمل.	20

20	فاصل الطمي.	(16 - II)
20	مضخة الطرد المركزي.	(17 - II)
20	مقطع لمضخة الطرد المركزي.	(18 - II)
21	الدورة الكاملة لمائع الحفر.	(19 - II)
22	أنظمة التحكم في البئر - بعض الأمثلة لمائع الانفجار.	(20 - II)
23	خطوط الحنق و الإخماد.	(21 - II)
23	مجمع أو نظام التحكم.	(22 - II)
24	محركات الديزل.	(23 - II)
24	المولد الكهربائي.	(24 - II)
24	لوحات التحكم الكهربائية.	(25 - II)
25	معدات قاع البئر.	(26 - II)
25	أطواق الحفر.	(27 - II)
25	المتنبتات.	(28 - II)
26	الأنابيب الثقيلة.	(29 - II)
26	المحركات القاعية.	(30 - II)
27	رسم وصفي لآلة الحفر بالدق - رافعة دق الأوتاد.	(31 - II)
29	رسم وصفي لآلة الحفر الدوراني - الروتاري.	(32 - II)
35	البرنامج النموذجي لتبطين البئر.	(01 - III)
37	سد و تغطية مناطق التسرب.	(02 - III)
37	إحداث حيود.	(03 - III)

37	وضع سداة تسميت.	(04 - III)
43	وحدة ضخ و مزج الملاط الإسمنتي المتنقلة.	(05 - III)
43	خطوط الضخ و أجهزة المراقبة.	(06 - III)
44	رأس الإسمنتة.	(07 - III)
45	سداة تسميت.	(08 - III)
46	وحدة التسميت مع المخلاط، رأس التسميت، صومعة التخزين و وحدة الضخ.	(09 - III)
46	عملية و مراحل تحضير ملاط الاسمنت.	(10 - III)
47	عملية تهيئة أنابيب التبطين و تزويدها بملحقات (إكسسوارات) التسميت.	(11 - III)
62	مخطط برنامج حفر، تغليف و تسميت البئر العميقة سيدي عمران.	(01- IV)

الفهرس

الصفحة	قائمة المحتويات
01	مقدمة عامة
الفصل الأول : التعريف بمنطقة الدراسة	
04	1- التعريف بمنطقة الدراسة : (ولاية المغير)
04	1-1- الموقع الجغرافي و الفلكي
04	1-2- المناخ
06	1-3- تضاريس المنطقة
06	1-4- الثروة النباتية و الحيوانية
07	1-5- المؤهلات السياحية
07	1-6- الموقع الجغرافي لبلدية سيدي عمران
08	1-7- المعطيات التقنية للبئر
08	1-8- إحدائيات البئر
08	1-9- الإحدائيات الجغرافية للبئر
09	1-10- الغرض من إنجاز البئر
الفصل الثاني : عموميات حول الحفر	
11	مقدمة
11	1- تعريف الحفر
12	2- أهداف الحفر
13	3- الأنظمة الرئيسية لآلات و معدات حفر آبار المياه
13	3-1- برج الحفر

14	3-2- نظام الرفع
16	3-3- منظومة الدوران
19	3-4- نظام تدوير مائع الحفر
21	3-5- نظام التحكم في البئر
23	3-6- نظام القدرة و الطاقة
24	3-7- معدات قاع البئر
26	4- طرق و تقنيات حفر الآبار المائية
26	4-1- مفهوم طرق الحفر
27	4-2- الحفر اليدوي
27	4-3- الحفر بالدق
28	4-4- الحفر الدوراني
29	4-5- الحفر بالهواء المضغوط
30	4-6- الحفر بالمطرقة الهوائية
31	4-7- الحفر بالدوران العكسي لسائل الحفر
32	خلاصة
الفصل الثالث : الدراسة التقنية لعملية التسميت (الإسمنتة)	
34	مقدمة
34	1- التسميت (الإسمنتة) في الآبار العميقة
34	1-1- تعريف التسميت (الإسمنتة)
35	1-2- أهداف التسميت (الإسمنتة)

36	1-3- أنواع التسميت (الإسمتة)
38	1-4- خصائص الإسمت المستعمل في قطاع حفر الآبار
39	1-5- المواد المضافة للإسمت (المضافات)
42	1-6- معدات و آلات عملية الإسمتة
46	1-7- مراحل تنفيذ عملية التسميت
49	1-8- مشاكل التسميت و طرق معالجتها
50	خلاصة
الفصل الرابع : الدراسة التطبيقية و حسابات التسميت الحالة النموذجية لبئر الألبى- البرمي سيدي عمران	
53	مقدمة
54	1- مراحل الحفر، التبطين، عمليات التسميت و حساباتها لبئر سيدي عمران
54	1-1- المرحلة الأولى
58	1-2- المرحلة الثانية
59	1-3- المرحلة الثالثة
64	خلاصة
65	خاتمة
68	المراجع
71	الملخصات

مقدمة عامة

مقدمة :

تُعدّ المياه الجوفية من أهم الموارد الطبيعية التي تعتمد عليها المناطق الصحراوية وشبه الصحراوية لتلبية الاحتياجات المتزايدة في مجالات الشرب، الفلاحة، والصناعة، خاصة في ظل التغيرات المناخية وتراجع الموارد السطحية. ومن هذا المنطلق، أصبحت الآبار العميقة وسيلة أساسية لاستغلال الطبقات المائية العميقة، لا سيما في مناطق الجنوب الجزائري التي تزخر بخزانات مائية مهمة، من بينها تكوين الألي-البارمي بمنطقة سيدي عمران بولاية المغير.

إن إنجاز بئر عميقة يتطلب اتباع مجموعة من العمليات التقنية والهندسية الدقيقة التي تضمن سلامة البئر وفعاليته واستمرارية استغلاله. وتُعتبر عملية وضع وتغليف أعمدة الأنابيب من أهم مراحل تجهيز الآبار، حيث تهدف إلى تدعيم جدران البئر، منع انهيار التكوينات الجيولوجية، وعزل الطبقات المائية المختلفة لتفادي التلوث أو اختلاط المياه. كما تلعب عملية الإسمنتة دورًا أساسيًا في تثبيت أعمدة التغليف وتحقيق العزل الهيدروليكي بين الطبقات الجيولوجية، الأمر الذي يساهم في تحسين مردودية البئر وضمان سلامته التقنية على المدى الطويل.

وتزداد أهمية حسابات الإسمنتة في الآبار العميقة نظرًا لتعدد الظروف الجيولوجية والضغط المختلفة التي تواجه عمليات الحفر والتجهيز، مما يستوجب دراسة دقيقة لخصائص البئر وأبعاد أعمدة الأنابيب وكميات الإسمنت اللازمة لتحقيق أفضل النتائج التقنية. لذلك فإن نجاح عملية تجهيز البئر يعتمد بدرجة كبيرة على حسن اختيار نوع التغليف، أبعاد الأنابيب، وتصميم برنامج الإسمنتة بطريقة تتلاءم مع طبيعة التكوين الجيولوجي المستغل.

تهدف هذه الدراسة إلى تسليط الضوء على مختلف الجوانب المتعلقة بوضع وتغليف أعمدة الأنابيب وحسابات الإسمنتة في بئر عميقة ضمن تكوين الألي-البارمي بمنطقة سيدي عمران - ولاية المغير، من خلال دراسة الخصائص الجيولوجية والهيدروجيولوجية للمنطقة، وتحليل المراحل التقنية الخاصة بتجهيز البئر، إضافة إلى دراسة المعايير المعتمدة في حساب كميات الإسمنت وضمان فعالية عملية الإسمنتة. وتكتسي هذه الدراسة أهمية علمية وتطبيقية، كونها تساهم في فهم التقنيات المستعملة في تجهيز الآبار العميقة وتحسين مردوديتها، بما يضمن استغلالًا عقلانيًا ومستدامًا للموارد المائية الجوفية.

الجانِب النظري

الفصل الأول:

التعريف بمنطقة الدراسة

1- التعريف بمنطقة الدراسة : (ولاية المغير)

1-1- الموقع الجغرافي والفلكي :

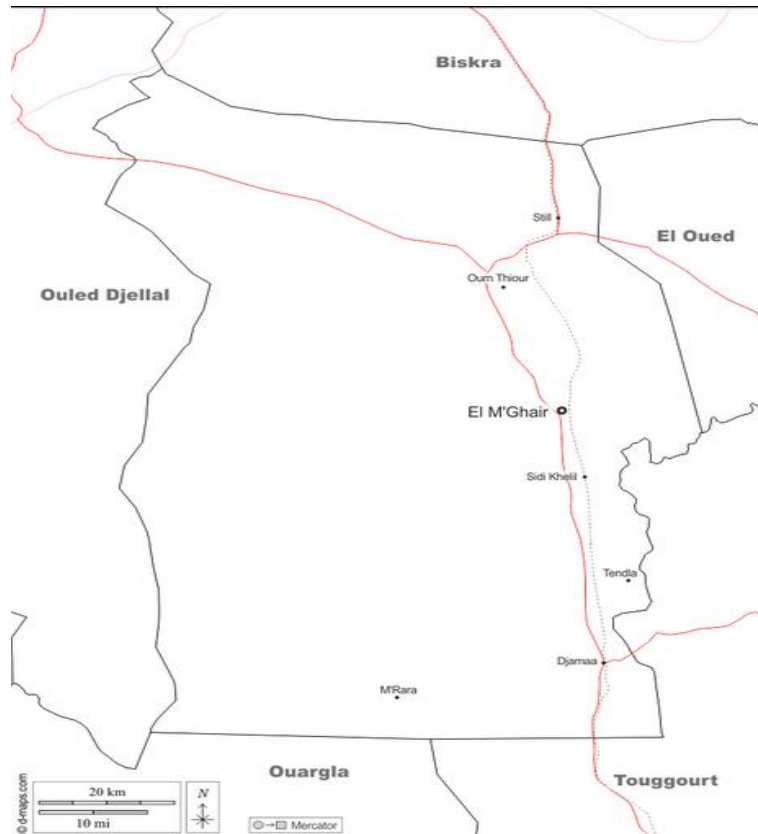
المغير هي ولاية جزائرية فنية أنشئت عام 2019 و دُعمت رسميًا عام 2021؛ و كانت سابقًا ولاية مُفَوَّضَة منذ عام 2015. و هي جزء من منطقة واد ريغ و امتدادا له، توجد بها مواقع تعود لفترات ما قبل التاريخ، شاهدة على أن استقرار البشر هنا منذ العصور القديمة...، تقع ولاية المغير بالجنوب الشرقي للجزائر ضمن إقليم وادي ريغ في جزئه الشمالي و لها موقع استراتيجي وسطي، حيث يمر بها الشريانين الحيويين (الطريق الوطني رقم 3، و خط السكة الحديدية) مشكلان خطان متوازيان، و يعبران كافة بلدياتها لتحمل بذلك لقب “جوهرة وادي ريغ“. (أنظر الشكل I-01).

تمتد ولاية المغير من بلدية اسطيل شمالا إلى غاية بلدية سيدي عمران جنوبا، و تتربع على مساحة (1532) كلم²، تحدها شمالاً ولاية بسكرة، شرقاً ولاية الوادي، غربا ولاية أولاد جلال و جنوبا ولاية تفرت، و يتميز موقعها الفلكي بالإحداثيات التقريبية التالية :

- بين دائرتي عرض $33^{\circ}30'$: و $30^{\circ}34'$ شمالاً.
- و بين خطي طول $5^{\circ}30'$: و $00^{\circ}7'$ شرقاً.
- تضم دائرتين هما: المغير (عاصمة المدينة) و جامعة، و ثماني بلديات.
- يبلغ تعداد سكانها 49793 نسمة (إحصائيات 2008).

1-2- المناخ :

يسود ولاية المغير مناخ صحراوي حار صيفا و بارد شتاءا. رغم كونها منطقة شبه جافة إلا أنها غنية بالمياه الباطنية. كما تتميز بنسب تساقط ضئيلة تصل إلى 70 ملم سنويا و بدرجات حرارة تفوق 40° مئوية. غالبية الرياح التي تهب حول المنطقة دافئة خاصة في فصلي الصيف و الربيع (سيروكو).



الشكل I-01 :- الموقع الجغرافي لولاية المغير.

1-3- تضاريس المنطقة :

تتنوع التضاريس في الولاية من شمالها إلى جنوبها، فتنوع التربة والنباتات والتضاريس، فشمالها و بالتحديد بلدية المغير و أم الطيور و اسطيل تتميز بسهولها الصالحة للزراعة الموسمية و بكثرة أوديتها التي تسيل في الأيام الماطرة فتخصب تربتها و ربما تفيض فتحدث فيضانات غير متوقعة و كذلك الأمر في منطقة المرارة.

غير أن أهم ما يميز الولاية، المناطق الرطبة و المتمثلة في البحيرات و الشطوط و الوديان على غرار بحيرة عياطة بلدية سيدي عمران، و بحيرة لآلة الزهرة بوغلانة بلدية جامعة، بحيرة سيدي اخليل، قناة واد ريع و التي تمتد من منطقة القوق بلدية بلدة عمر بولاية تقرت إلى المغير على مسافة تزيد عن 120 كلم. و من بين أضخم تضاريسها شط مروان و هو عبارة عن بحيرة مياه مالحة موسمية (شط) تتجمع وسط حوض طبيعي مغلق و هو يمثل الجزء الغربي من سلسلة منخفضات تمتد من خليج قابس بتونس إلى وسط الصحراء الجزائرية، و تعتبر ثاني أكبر بحيرة في الجزائر بعد شط ملغيغ المحاذي له، شرق الطريق الوطني رقم 48. كما تعد المغير أكثر المناطق انخفاضاً في الجزائر (شط مروان) حوالي (- 40م) تحت مستوى سطح البحر و يبعد عن وسط مدينة المغير ب 9 كم. نشير كذلك إلى أن هذا الشط يعتبر مصدراً للأبحاث العلمية في مختلف الميادين الجيولوجية و البيولوجية و البيئية و مورداً أولياً في إنتاج الملح في الجزائر.

1-4- الثروة النباتية والحيوانية :

أدى تنوع التضاريس بالمغير إلى وجود تنوع نباتي قل نظيره في المنطقة. فالبحيرات و السهول و الهضاب الموجودة تبعها تنوع نباتي هائل، فبمجرد انتقالك كيلومترات من منطقة المرارة إلى جامعة أو إلى البرقجية ستجد اختلافاً عجباً في التربة و النباتات التي تنتشر في المنطقة، فتنشر أشجار السدر و الدفلى... و نبات الحرمل.

كما نجد التنوع الحيواني، حيث يهتم أهل المنطقة بتربية الأغنام و الماعز، و كذلك الإبل، خاصة بمنطقة المرارة.

و نجد تنوعاً رهيباً في أصناف الطيور المهاجرة، و هذا التنوع راجع لكون المنطقة و بما تحويه من بحيرات و تجمعات مائية تجعلها محطة لهذه الطيور المهاجرة، و خير مثال على ذلك بحيرة عياطة بلدية

سيدي عمران و المصنفة ضمن اتفاقية رامسار للمناطق الرطبة. و تنتشر بعض الطيور النادرة كالهدهد و غيره في غابات النخيل و منطقة البرقجية، و كذلك واد خروف بمنطقة عين الشيخ ببلدية سيدي خليل.

1-5- المؤهلات السياحية :

يعد الجنوب الصحراوي مركزا مهما للجذب السياحي بما في ذلك المغير. أولا لأنها جزء من المنطقة الجغرافية ”وادي ريغ“، و ثانيا لما تتوفر عليه من مساحات طبيعية و تاريخية و ثقافية، رغم كونها ولاية فتية، و كذا مقومات متنوعة يمكن الاستثمار فيها كالقصور التقليدية مثل قصر بري نوبة و قصر اسيفاو...و المساجد العتيقة مثل مسجد قصر تمرنة، الجامع الأخضر بالمغير، مسجد قصر و غلانة... بعد التعريف العام بولاية المغير يجدر بنا التطرق إلى موقع الدراسة المتمثل في منطقة سيدي عمران، و التي تُعد من المناطق التي تعرف أهمية مائية معتبرة نظراً لتموقعها ضمن نطاق الخزانات الجوفية العميقة التابعة لتكوين الألي-البارمي.

و قد وقع اختيار موقع الدراسة على بئر سيدي عمران العميقة باعتبارها من المشاريع المائية الهادفة إلى تدعيم الموارد المائية بالمنطقة، حيث أُنجزت وفق معايير تقنية خاصة بالحفر العميق، مع اعتماد عدة مراحل للحفر و التغليف و الإسمنتة بما يتناسب مع الخصائص الجيولوجية و الهيدروجيولوجية للتكوينات المخترقة.

و في هذا السياق، سيتم فيما يلي عرض الموقع الجغرافي للبئر، محور هذه الدراسة، ثم تقديم أهم المعطيات التقنية المتعلقة بها، من حيث طريقة الحفر، أقطار الحفر، أنابيب التبطين المستعملة، العمق النهائي، و نوع سائل الحفر، إضافة إلى مختلف مراحل الإنجاز التقنية المعتمدة أثناء تنفيذ المشروع.

1-6- الموقع الجغرافي لبلدية سيدي عمران :

تقع بلدية سيدي عمران في جنوب شرق الجزائر، وهي إحدى البلديات التابعة لولاية المغير (ضمن دائرة جامعة).

و التي يحدها :

✓ شمالاً : بلدية جامعة (ولاية المغير).

✓ جنوباً : بلدية سيدي سليمان (دائرة المقارين، ولاية تقرت).

✓ شرقاً : بلدية المنقر (ولاية تقرت).

✓ غرباً : بلدية المرارة (ولاية المغير).

1-7- المعطيات التقنية للبئر:

- صاحب المشروع : مديرية الموارد المائية لولاية المغير.
- هيئة المتابعة : الوكالة الوطنية للموارد المائية – (ANRH) المديرية الجهوية للجنوب الشرقي بورقلة – الوحدة الإقليمية لتقريت.
- مؤسسة الإنجاز : شركة مجموعة كروشي – الوادي.
- العمق المحقق : 1490 متر.
- طريقة الحفر المستعملة : الحفر الدوراني.
- نوع سائل الحفر : طين بنتونيتي.

1-8- إحداثيات البئر :

تعتمد الإحداثيات المسقط على النظام الجيوديسي العالمي WGS84 وفق المنطقة المعمول بها UTM31S:

$$X = 0777257 \text{ E} \quad \clubsuit$$

$$Y = 3702804 \text{ N} \quad \clubsuit$$

$$\clubsuit \text{ الارتفاع عن سطح البحر} = 61 \text{ متر.}$$



الشكل I- 02 : الموقع الجغرافي لبئر التنقيب العميق (الألبو-باريمي) سيدي عمران(جوجل إيرث).

1-9- الإحداثيات الجغرافية للبئر :

- خط الطول "05°58'54.66": شرقاً .

- خط العرض "33°25'43.82 :شمالاً .

1-10- الغرض من إنجاز البئر:

- يهدف إنجاز البئر العميقة بمنطقة سيدي عمران إلى استغلال الموارد المائية الجوفية العميقة التابعة لتكوين الألبى-البارمي، و ذلك من أجل تدعيم التموين بالمياه و تلبية الاحتياجات المتزايدة بالمنطقة.
- و تتمثل الأهداف الرئيسية لإنجاز هذه البئر فيما يلي:
- توفير مورد مائي دائم و مستقر يمكن الاعتماد عليه في تزويد السكان بالمياه .
 - دعم التنمية الفلاحية بالمنطقة من خلال توفير المياه اللازمة للسقي .
 - استغلال الخزانات المائية الجوفية العميقة ذات المردودية الجيدة.
 - تعزيز قدرات التموين المائي خاصة في المناطق الصحراوية التي تعاني من محدودية الموارد المائية السطحية.
 - دراسة الخصائص الهيدروجيولوجية لتكوين الألبى-البارمي و مدى قابليته للاستغلال المائي .
- كما يهدف المشروع إلى ضمان استغلال آمن و مستدام للبئر عبر اعتماد تقنيات حديثة في الحفر، التغليف، و الإسمنتة، بما يسمح بحماية الطبقات المائية و الحفاظ على سلامة المنشأة على المدى الطويل.

الفصل الثاني :

عموميات حول الحفر

مقدمة :

يُعدّ حفر الآبار من أهم العمليات الأساسية في مجال الهندسة البترولية و الهيدروجيولوجية، إذ تسمح بالوصول إلى التكوينات الجيولوجية العميقة و استغلال الموارد الموجودة في باطن الأرض، سواء تعلق الأمر بالمياه الجوفية أو المحروقات. و تتم عملية الحفر باستعمال تجهيزات و تقنيات متطورة تختلف باختلاف طبيعة التكوينات الصخرية و عمق البئر و الهدف من إنجازها.

شهد قطاع الحفر تطوراً كبيراً خلال السنوات الأخيرة نتيجة التطور التكنولوجي في معدات الحفر و وسائل المراقبة و التحكم، مما ساهم في تحسين مردودية الآبار و تقليل المخاطر التقنية و الاقتصادية المرتبطة بعمليات الإنجاز. كما أصبحت عمليات التغليف و الإسمنتة جزءاً أساسياً من نجاح البئر، نظراً لدورها في حماية جدران البئر و ضمان العزل بين الطبقات الجيولوجية المختلفة. في إطار هذه الدراسة، سيتم التطرق إلى المفاهيم الأساسية المتعلقة بالحفر، انطلاقاً من تعريفه و أهدافه، مروراً بمختلف تقنيات و طرق الحفر المستعملة، وصولاً إلى أهم المعدات المعتمدة في إنجاز الآبار العميقة.

1- تعريف الحفر:

الحفر هو عملية ميكانيكية تهدف إلى اختراق الطبقات الجيولوجية باستعمال معدات و تجهيزات خاصة من أجل إنشاء بئر يصل إلى عمق و قطر محددين مسبقاً وفق أهداف تقنية مدروسة. و تتم هذه العملية من خلال تفتيت الصخور بواسطة أداة الحفر و ربطها بمنظومة دوران و ضخ تسمح بإزالة الفتات الصخري و المحافظة على استقرار البئر أثناء الإنجاز.

تختلف عمليات الحفر حسب طبيعة المشروع المراد إنجازها، حيث يمكن أن يكون الهدف:

- استغلال المياه الجوفية.
- استخراج النفط و الغاز.
- الدراسات الجيوتقنية.
- أغراض البحث و الاستكشاف الجيولوجي.

و يُعتبر الحفر من العمليات المعقدة التي تتطلب دراسة دقيقة للمعطيات الجيولوجية و الهيدرولوجية و التقنية قبل الشروع في الإنجاز، و ذلك لتفادي المشاكل التي قد تؤثر على سلامة البئر أو فعاليته الإنتاجية.

2- أهداف الحفر:

تختلف أهداف حفر الآبار باختلاف طبيعة المشروع و نوع المورد المستهدف، و من أهم هذه الأهداف ما يلي:

➤ استغلال المياه الجوفية : يُستخدم الحفر للوصول إلى الطبقات المائية الجوفية بهدف استغلالها في:

- الري الفلاحي.
- التزويد بالمياه الصالحة للشرب.
- الاستعمالات الصناعية.
- سقي المساحات الزراعية.

و يُعتبر هذا النوع من الحفر من أكثر الأنواع انتشارًا في المناطق الصحراوية و شبه الجافة.

➤ الاستكشاف البترولي و الغازي: يهدف الحفر في المجال البترولي إلى اكتشاف و استغلال مكامن النفط و الغاز الطبيعي من خلال اختراق التكوينات الجيولوجية الحاوية للهيدروكربونات.

➤ الدراسات الجيولوجية و الجيوتقنية : تُنجز بعض الآبار لأغراض علمية و تقنية من أجل:

- دراسة طبيعة التربة و الصخور.
- معرفة الخصائص الجيوميكانيكية للتكوينات.
- إنجاز المشاريع الكبرى مثل السدود و المنشآت الفنية و القاعدية.

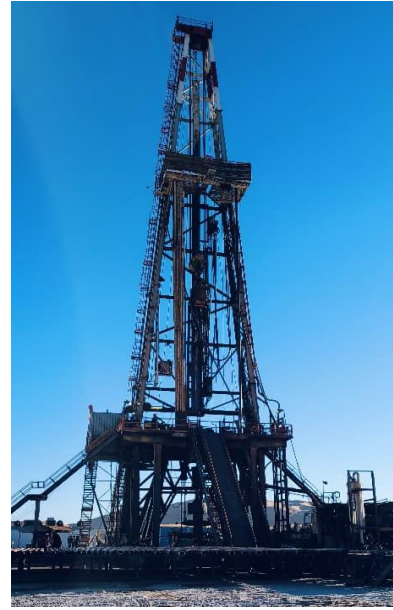
➤ مراقبة الطبقات الجوفية : تُستعمل بعض الآبار لمراقبة:

- مستوى المياه الجوفية.
- نوعية المياه.
- أو تطور الضغط داخل التكوينات الجيولوجية.

3 - الأنظمة الرئيسية لآلات و معدات حفر آبار المياه :

3-1- برج الحفر:

برج الحفر هو الهيكل المعدني المرتفع الذي تُثبت عليه معدات الرفع و الدوران، و يُستخدم لتحمل أوزان أعمدة الحفر و أنابيب التغليف أثناء عمليات الحفر و الإنزال. و يُعد من أهم المكونات الأساسية في منصة الحفر، إذ يوفّر الارتفاع اللازم لمناولة مواسير الحفر و رفعها على شكل مقاطع طويلة، مما يساهم في تسريع عمليات الحفر و تقليل الوقت الضائع أثناء تركيب أو سحب الأنابيب.



الشكل: II- 01 : برج الحفر (نظام روتاري - دوراني).

3-1-1- وظائف برج الحفر :

تتمثل الوظائف الرئيسية لبرج الحفر فيما يلي:

- دعم معدات الرفع مثل كتلة البكرة الثابتة و المتحركة و خطاف الرفع.
- توفير ارتفاع مناسب يسمح بإنزال و رفع مواسير الحفر و أنابيب التغليف بسهولة.
- تحمل الأحمال الثقيلة الناتجة عن عمليات السحب و الإنزال أثناء الحفر.
- المساهمة في استقرار عمليات الحفر و المحافظة على سلامة المعدات و العاملين.
- تسهيل عمليات إضافة و فك مواسير الحفر خلال تقدم عملية الحفر.

3-1-2- أنوع أبراج الحفر:

تنقسم أبراج الحفر إلى نوعين رئيسيين:

3-1-2-1- البرج الثابت:

و هو برج معدني دائم التركيب يتميز بالقوة و المتانة و قدرته الكبيرة على تحمل الأحمال الثقيلة. يُستخدم غالبًا في مشاريع الحفر العميقة و الطويلة المدة، إلا أن عملية تركيبه و تفكيكه تتطلب وقتًا و جهدًا كبيرين .

3-1-2-2- البرج القابل للطي و النقل:

يتميز بسهولة التركيب و النقل مقارنة بالبرج الثابت، حيث يمكن طيه و نقله بسرعة من موقع إلى آخر. و يُستخدم بكثرة في آبار المياه و الأعمال التي تتطلب التنقل المستمر بين مواقع الحفر.

3-1-2- أهمية برج الحفر :

تكمن أهمية برج الحفر في كونه العنصر الرئيسي الذي يحمل معدات الرفع و الحفر، كما أنه يضمن تنفيذ عمليات الحفر بكفاءة و أمان.

و تزداد أهمية البرج مع زيادة عمق البئر و وزن أعمدة الحفر، حيث يجب أن يكون مصممًا لتحمل الإجهادات و الأحمال الكبيرة الناتجة عن العمليات المختلفة داخل البئر.

3-2- نظام الرفع :

يُعد نظام الرفع من الأنظمة الأساسية في منصات الحفر، حيث يُستخدم لرفع و خفض معدات الحفر داخل البئر أثناء مختلف مراحل العمل. و تكمن أهميته في ضمان التحكم في حركة أعمدة الحفر و أنابيب التبطين و المعدات الثقيلة بطريقة آمنة و منظمة، مما يُساهم في استمرارية عمليات الحفر بكفاءة عالية و تقليل المخاطر الميكانيكية داخل الورشة.

يتكوّن نظام الرفع من عدة أجزاء مترابطة تعمل معًا لتحقيق عملية الرفع و الإنزال، ومن أهم هذه

المكونات :

3-2-1- كتلة البكرة الثابتة :

و هي مجموعة من البكرات تُثبت أعلى برج الحفر و يمر عبرها سلك الحفر الفولاذي، حيث تساعد على توزيع الأحمال و توجيه حركة السلك أثناء التشغيل (انظر الشكل II- 02).

3-2-2- كتلة البكرة المتحركة :

و هي كتلة البكرات التي تتحرك صعودًا و نزولًا خلال عمليات الرفع و الإنزال، و تكون مرتبطة مباشرة بالأحمال المراد تحريكها داخل البئر. (انظر الشكل II- 03).



الشكل II- 03 : كتلة البكرة المتحركة.

الشكل II- 02 : كتلة البكرة الثابتة.

3-2-3- خطاف الرفع :

و هو الجزء المستخدم لتعليق عمود الحفر أو أنابيب التبطين أثناء عمليات المناولة و الرفع. (انظر الشكل II- 04).

3-2-4- آلة السحب :

فُتعتبر القلب الميكانيكي لنظام الرفع، إذ تتحكم في سرعة رفع و إنزال المواسير من خلال تدوير سلك الحفر و التحكم في شدته. (انظر الشكل II- 05).

3-2-5- كابل (سلك) الحفر:

و هو حبل فولاذي عالي المتانة يُستخدم لنقل الأحمال الثقيلة و تحمل القوى الناتجة عن عمليات الحفر و السحب. (انظر الشكل II- 05).



الشكل II-05 : آلة السحب وكابل (سلك) الحفر.

الشكل II-04 : الخطاف.

و تتمثل أهمية نظام الرفع في تمكين عمليات إنزال أعمدة الحفر إلى داخل البئر و إخراجها أثناء عمليات الصيانة أو تغيير المعدات، بالإضافة إلى التحكم في الوزن المطبق على مثقاب الحفر أثناء التنقيب. و يساعد هذا النظام على تحسين كفاءة العمل و ضمان سلامة المعدات و العاملين، خاصة في الآبار العميقة التي تتطلب دقة كبيرة في عمليات الرفع و الإنزال.

3-3- منظومة الدوران :

تُعتبر منظومة الدوران من الأنظمة الرئيسية في الحفارة، إذ يتمثل دورها الأساسي في تدوير رأس الحفر بهدف تكسير الصخور و اختراق الطبقات الجيولوجية أثناء عملية الحفر. و تعمل هاتاه المنظومة على نقل الحركة الدورانية من مصدر القدرة الموجود على سطح الحفارة إلى قاع البئر، مما يسمح بتقدم الحفر و الوصول إلى الأعماق المطلوبة بكفاءة عالية. تتكوّن منظومة الدوران من عدة مكونات مترابطة، من أهمها :

3-3-1- المحرك العلوي (وحدة تدوير علوية) :

أُدخل حديثا في أنظمة الحفر حيث يستعمل المحرك العلوي بدلا من خطاف الرفع، رأس الحقن، الطاولة الدوارة، العمود المضلع (الكيلي)، مربع الجر و المفاتيح، حيث يوفر تحكماً أفضل في عملية الدوران، و يسهم في زيادة سرعة الحفر و تحسين الكفاءة التشغيلية. (انظر الشكل II-06).



الشكل : II - 06 : المحرك العلوي.

3-3-2- الطاولة الدوارة :

و هي جهاز ميكانيكي يقوم بنقل الحركة الدورانية إلى عمود الحفر، حيث تُعد من الوسائل التقليدية المستخدمة في منصات الحفر. (انظر الشكل II-07).

3-3-3- العمود المضلع (الكلي) :

و هو أنبوب ذو شكل مربع (رباعي الأوجه) أو سداسي (سداسي الأوجه) يُستخدم لنقل العزم الدوراني من الطاولة الدوارة إلى أنابيب الحفر، مع السماح بحركة عمود الحفر (البريمة) عمودياً أثناء التقدم في الحفر. (انظر الشكل II-08).

في الشكل الموالي نعطي بعض الأمثلة عن الطاولة الدوارة و العمود المضلع و كيفية توصيلهما.



الشكل : II-08 : الطاولة الدوارة و العمود المضلع.

الشكل : II-07 : الطاولة الدوارة.

3-3-4- عمود الحفر (البريمة) :

و هو سلسلة من الأنابيب المتصلة ببعضها البعض و التي تقوم بنقل الحركة الدورانية و سائل الحفر إلى قاع البئر. تتكون هذه السلسلة من قضبان الحفر و قضبان الحفر الثقيلة.



الشكل II- 10 : قضبان الحفر الثقيلة.

الشكل II- 09 : قضبان الحفر.

3-3-5- رأس الحفر:

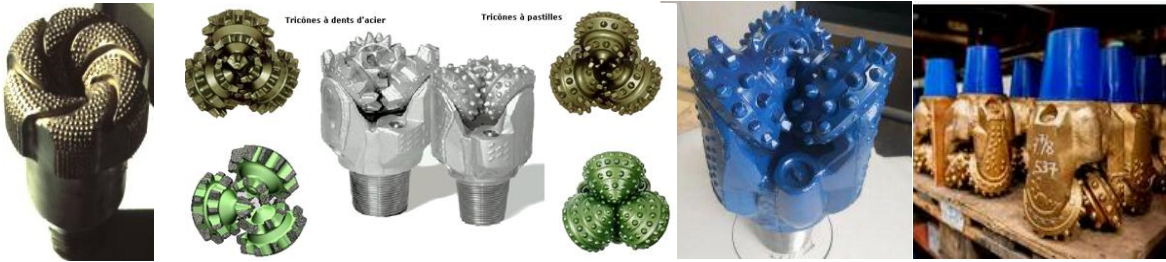
و هي الأداة المسؤولة مباشرة عن تكسير الصخور و اختراق التكوينات الجيولوجية المختلفة و تختلف أنواع رؤوس الحفر حسب طبيعة الطبقات المراد حفرها، فمنها :

♣ الرؤوس المخروطية : و هي التي تُستخدم في الصخور المتوسطة و الصلبة.

♣ الرؤوس الماسية : و هي التي تتميز بقدرتها العالية على اختراق الصخور القاسية.

♣ الرؤوس الماسية الطبيعية : و هي التي تُستخدم في بعض الظروف الخاصة التي تتطلب مقاومة كبيرة للتآكل و الدقة في الحفر.

و تتمثل الوظائف الأساسية لمنظومة الدوران في توفير الحركة الدورانية لرأس الحفر بصورة مستمرة، و المساهمة في اختراق الطبقات الصخرية، بالإضافة إلى نقل عزم الدوران من السطح (جهاز الحفر) إلى قاع البئر (البريمة و رأس الحفر).



الشكل II - 11 : رأس الحفر : بعض الأمثلة.

كما يساعد هذا النظام على تحسين كفاءة الحفر و تقليل الزمن اللازم لإنجاز البئر، خاصة عند استخدام الأنظمة الحديثة ذات التحكم المتطور.

3-4- نظام تدوير مائع الحفر :

يُعد نظام تدوير موائع الحفر من الأنظمة الأساسية في عمليات الحفر و التنقيب، حيث يعمل على تدوير سائل الحفر داخل البئر بشكل مستمر (حلقة مستمرة و مغلقة) أثناء عملية الحفر، و يُعرف سائل الحفر أو ”طين الحفر“ بأنه مزيج من الماء (أو الزيت) و المواد الكيميائية و الطينية و يُستخدم لتحقيق عدة وظائف تقنية مهمة تساعد على استقرار البئر و تحسين كفاءة الحفر.

يبدأ مسار طين الحفر من الخزانات الموجودة على السطح، ثم يُضخ بواسطة مضخات خاصة عبر معدات تتكون من شبكة الأنابيب الأرضية نحو خرطوم الحقن المرن و من ثم إلى داخل عمود الحفر (البريمة) مروراً برأس الحقن حتى يصل إلى قاع البئر، قبل أن يعود إلى السطح محملاً بفتات الصخور المحفورة الناتج عن عملية الحفر.

يتكوّن نظام تدوير الطين من مجموعة من المعدات الرئيسية التي تعمل بصورة متكاملة و منسقة. و من أهم هذه المعدات :

3-4-1- مضخات موائع الحفر :

و هي مضخات قوية تقوم بضخ سائل الحفر بضغط عالٍ نحو داخل البئر لضمان استمرارية الدورة. كما يحتوي النظام على خزانات الطين التي تُستخدم لتحضير و تخزين سائل الحفر و المحافظة على خصائصه الفيزيائية و الكيميائية المناسبة لظروف الحفر، طيلة الدورة، و التي يتم تحديدها مسبقاً. (انظر الشكل II-12).

3-4-2- الأنبوب الصاعد :

و هو أنبوب معدني يثبت بموازاة عمود المنصة و يساهم في نقل موائع الحفر المضغوط من المضخات (شبكة الأنابيب الأرضية) نحو خرطوم الحقن المرن الموصل برأس الضخ المغزلي، الذي يقوم بدوره بحقن موائع الحفر (إيصال الطين) إلى داخل عمود الحفر (البريمة) أثناء دوران معدات الحفر. (انظر الشكل II-13).

3-4-3- الغريال الاهتزازي :

بعد خروج الطين من داخل البئر و عودته إلى السطح محملاً بفتات الصخور، يعبر من خلال الغريال الاهتزازي الذي يقوم بعملية فصل الفتات و القطع الصخرية الكبيرة عن موائع الحفر. (انظر الشكل II- 14).



الشكل II: 12: مضخات موائع الحفر. الشكل II : 13 : الأنبوب الصاعد. الشكل II : 14: الغريال الاهتزازي.

3-4-4- أجهزة إزالة الرمال و الغرين (أو الطمي) :

لزيادة كفاءة تنقية موائع الحفر (العائدة من داخل البئر) تُستخدم أجهزة إزالة الرمال و الغرين، حيث تعمل هذه المعدات على التخلص من الجزيئات الدقيقة العالقة في سائل الحفر.



الشكل II: 16 : فاصل الطمي.

الشكل II: 15 : فاصل الرمل.

3-4-5- أجهزة الطرد المركزي :

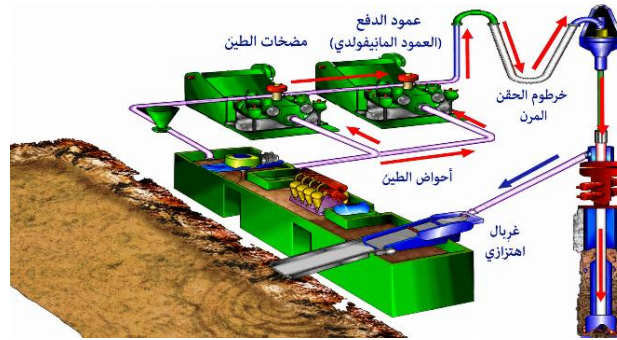
تُستخدم هذه الأجهزة لتنقية أكثر شمولاً لسائل الحفر و المحافظة على خواصه، الشيء الذي يسهم في احتفاظه بمواصفاته و بالتالي إعادة استخدامه، تقليلاً لتكاليف الحفر.



الشكل II: 17 : مضخة الطرد المركزي.

الشكل II: 18 : مقطع لمضخة الطرد المركزي.

و تتمثل الوظائف الأساسية لنظام تدوير الطين في تبريد رأس الحفر أثناء العمل نتيجة الاحتكاك المستمر بالصخور، بالإضافة إلى حمل الفتات الصخري من قاع البئر إلى السطح لمنع تراكمه داخل البئر. كما يساعد الطين على تثبيت جدران البئر ومنع انهيارها و تجنب ظاهرة الترشيع، إضافة إلى دوره المهم في التحكم في ضغوط مكامن الطبقات الجيولوجية والحد من احتمالات حدوث الانسكابات (الماء، البترول، الغاز) أو تدفق هاته الموائع بشكل غير مسيطر عليه أثناء الحفر دون التسبب في التشققات (ضياغ سائل الحفر).



الشكل II- 19: الدورة الكاملة لمائع الحفر.

3-5- نظام التحكم في البئر:

يُعتبر نظام التحكم في البئر من أهم أنظمة السلامة في عمليات الحفر، إذ يهدف إلى منع اندفاع الموائع الموجودة داخل الطبقات الجيولوجية إلى سطح البئر بصورة غير مسيطر عليها. و تحدث هذه الاندفاعات نتيجة التفاضل في الضغوط بين التكوينات الجيولوجية و سائل الحفر) داخل البئر، مما قد يؤدي إلى حوادث خطيرة مثل الاندفاعات و التدفقات (المكامن إلى السطح) مما يتسبب في حوادث غير مرجوة (الانفجارات أو الحرائق) إذا لم تتم السيطرة عليها بسرعة و كفاءة، لذلك يُستخدم هذا النظام للحفاظ على التوازن الضغطي داخل البئر و ضمان سلامة عمليات الحفر.

يضم نظام التحكم في البئر مجموعة من المعدات الأساسية التي تعمل بشكل متكامل لتحقيق الحماية و السيطرة على الضغوط. و من أهم هذه المعدات :

3-5-1- مانع الانفجار:

و هو جهاز أمان يُركب فوق رأس البئر و يُستخدم للإغلاق عند الاندفاعات و التدفقات المكمنية (سوائل التكوين) العنيفة و غير المسيطر عليها و منعها من الوصول إلى السطح.

و يُعد هذا الجهاز خط الدفاع الرئيسي (بعد سائل الحفر) ضد حوادث الانفجار أثناء عمليات الحفر، و توجد عدة أنواع من مانعات الانفجار.

من أبرز هذه الأجهزة نذكر (على سبيل المثال لا الحصر) :

3-5-2- مانع الانفجار ذو الكباش أو المانع الكباسي:

تسمية "الكباش" مستوحاة من حركة الفكوك الحديدية التي تنطبق على بعضها بقوة هائلة لإغلاق البئر. (انظر الشكل II - 20).

3-5-3- مانع الانفجار الحلقي:

يستخدم هذا الأخير عنصرًا مطاطيًا مرناً لإحكام الإغلاق حول عمود الحفر بمختلف أقطاره. (انظر الشكل II - 20).



الشكل : II - 20 : أنظمة التحكم في البئر - بعض الأمثلة لمانع الانفجار.

3-5-4- خطوط الخنق و الإخماد :

هي خطوط ضغط عالٍ تُستخدم ضمن منظومة التحكم في البئر لتدوير الموائع و السيطرة على ضغط البئر أثناء حالات الفوران. و يُخصص خط الخنق للتحكم في تدفق و ضغط الموائع المندفعة من العمق (الخارجة من داخل البئر)، بينما يُستخدم خط الإخماد لضخ طين الحفر أو الموائع الثقيلة إلى داخل البئر من أجل استعادة التوازن الهيدروستاتيكي و السيطرة على البئر. (انظر الشكل II - 21).

3-5-5- مجمع التحكم:

و هو وحدة هيدروليكية توفر الضغط اللازم لتشغيل مانعات الانفجار بسرعة و كفاءة، عند الحاجة.

و تكمن أهمية نظام التحكم في البئر في حماية العاملين داخل موقع الحفر من المخاطر الناتجة عن التدفقات المفاجئة للغازات أو الموائع، إضافة إلى منع الانفجارات و الحرائق التي قد تسبب خسائر بشرية و مادية كبيرة. كما يسهم هذا النظام في المحافظة على سلامة البئر و المعدات و حماية البيئة من التلوث الناتج عن تسرب النفط أو الغاز أثناء عمليات الحفر. (انظر الشكل II- 22).



الشكل : II- 22:مجمع أو نظام التحكم.



الشكل: II- 21:خطوط الخنق والإخماد.

3-6- نظام القدرة والطاقة :

يُعد نظام القدرة و الطاقة من الأنظمة الحيوية في منصات الحفر، حيث يوفر الطاقة اللازمة لتشغيل مختلف المعدات و الأنظمة المستخدمة أثناء عمليات الحفر. و تعتمد كفاءة جهاز الحفر بصورة كبيرة على قدرة هذا النظام على توفير طاقة مستمرة و مستقرة تضمن تشغيل المعدات الثقيلة دون انقطاع، خاصة في مواقع الحفر النائية و المعزولة التي تفتقر إلى مصادر الطاقة الكهربائية الخارجية. يتكوّن نظام القدرة و الطاقة من عدة مكونات رئيسية تعمل بصورة متكاملة، و من أهم هذه المكونات :

3-6-1- محركات الديزل :

تُستخدم هذه المحركات كمصدر أساسي للطاقة الميكانيكية في معظم منصات الحفر لما تتميز به من قدرة عالية على تحمل ظروف التشغيل المعقدة و القاسية. (انظر الشكل II- 23).

3-6-2- المولدات الكهربائية :

هي التي تقوم بتحويل الطاقة الميكانيكية الناتجة عن المحركات إلى طاقة كهربائية تُستخدم في تشغيل المعدات و الأنظمة المختلفة داخل منصات الحفر. (انظر الشكل II- 24).



الشكل II- 24: المولد الكهربائي.



الشكل II- 23: محركات الديزل.

3-6-3- لوحات التحكم الكهربائية :

تُستخدم هذه اللوحات لمراقبة توزيع الطاقة و التحكم في تشغيل و إيقاف المعدات المختلفة، بالإضافة إلى المحولات الكهربائية التي تعمل على تنظيم الجهد الكهربائي و تكييفه حسب متطلبات التشغيل الخاصة بكل جهاز أو نظام داخل منصة الحفر.



الشكل II- 25: لوحات التحكم الكهربائية.

و تتمثل الوظائف الأساسية لنظام القدرة و الطاقة في تشغيل مضخات الطين المسؤولة عن تدوير موائع الحفر (من الأحواض إلى داخل البئر) في دائرة مغلقة و مستمرة، إضافة إلى تشغيل أنظمة الرفع و الدوران التي تُستخدم في تحريك معدات الحفر و تدوير رأس الحفر أثناء اختراق الصخور. كما يوفر هذا النظام الطاقة اللازمة لتزويد الأنظمة الكهربائية و الهيدروليكية المختلفة، مما يضمن استمرارية عمليات الحفر بكفاءة و أمان طوال فترة إنجاز البئر.

3-7-3- معدات قاع البئر:

تُعد معدات قاع البئر من الأجزاء الأساسية في منظومة الحفر، حيث تُركب في الجزء السفلي من عمود الحفر (البريمة) بالقرب من رأس الحفر، و تلعب دورًا مهمًا في تحسين كفاءة الحفر و المحافظة على استقامة البئر و تقليل الإجهادات الميكانيكية أثناء العمل.

و تختلف هذه المعدات حسب نوع البئر و طبيعة التكوينات الجيولوجية المراد حفرها، إلا أنها تعمل جميعاً بصورة متكاملة لضمان استقرار عملية الحفر و تحقيق أفضل أداء ممكن في قاع البئر. ومن أهم هذه المعدات : (انظر الشكل : II - 26).

3-7-1- أطواق الحفر:

و هي أنابيب فولاذية ثقيلة و سميكة تُوضع مباشرة فوق رأس الحفر، و تتمثل وظيفتها الأساسية في توفير الوزن اللازم للضغط على رأس الحفر و تمكينه من اختراق الصخور بكفاءة. كما تساعد أطواق الحفر على تقليل الاهتزازات و الانحناءات التي قد يتعرض لها عمود الحفر (البريمة) أثناء التشغيل. (انظر الشكل : II - 27).

3-7-2- المثبتات:

و هي أدوات تُستخدم للحفاظ على استقامة البئر و تقليل انحرافه أثناء الحفر، حيث تعمل على تثبيت عمود الحفر داخل البئر و المحافظة على مسار الحفر وفق الاتجاه المطلوب. و تزداد أهمية هذه المعدات خاصة في الآبار العميقة أو الموجهة التي تتطلب دقة كبيرة في التحكم بمسار البئر. (انظر الشكل : II - 28).



الشكل : II - 26 : معدات قاع البئر. الشكل : II - 27 : أطواق الحفر. الشكل : II - 28 : المثبتات.

3-7-3- الأنابيب الثقيلة :

و هي أنابيب ذات سماكة و وزن أكبر من أنابيب الحفر العادية و أقل وزناً من أطواق الحفر، حيث توضع بين أطواق الحفر و أنابيب الحفر العادية بهدف تقليل الإجهادات الميكانيكية الناتجة عن

اختلاف الصلابة و الوزن بين هذه المكونات، مما يسهم في حماية عمود الحفر من التلف أو الانكسار.
(انظر الشكل : II - 29).

3-7-4- المحركات القاعية:

و هي أجهزة تُركب بالقرب من رأس الحفر و تُستخدم لتدوير هذا الأخير مباشرة بواسطة الطاقة الناتجة عن تدفق سائل الحفر داخل البئر. و تُسهم هذه المحركات في تحسين كفاءة الحفر، خاصة في الآبار الموجهة و الأفقية. (انظر الشكل : II - 30).



الشكل : II - 30 : المحركات القاعية.

الشكل : II - 29 : الأنابيب الثقيلة.

كما تسمح هاته المحركات بالتحكم الأفضل في اتجاه الحفر و تقليل الحاجة إلى تدوير كامل عمود الحفر (البريمة) من السطح.

4- طرق و تقنيات حفر الآبار المائية :

تُعَدّ طرق و تقنيات الحفر من أهم المراحل الأساسية في إنجاز الآبار، إذ يتم اختيار طريقة الحفر وفق طبيعة التكوينات الجيولوجية، عمق البئر، نوع الطبقات، كمية المياه المطلوبة، و التكلفة الاقتصادية. و قد تطورت تقنيات الحفر بشكل كبير بفضل التطور الميكانيكي و الهيدروليكي، مما أسهم في تحسين سرعة الإنجاز و رفع كفاءة الآبار المائية.

4-1- مفهوم طرق الحفر:

يقصد بطرق الحفر مجموعة التقنيات و العمليات الهندسية المستخدمة لاختراق التكوينات الجيولوجية المختلفة بهدف الوصول إلى الخزانات الجوفية (المائية، نفطية...)، مع ضمان استقرار جدران البئر و تحقيق جودة إنجاز عالية.

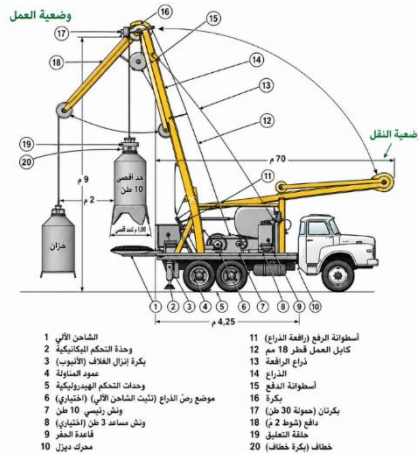
و تتباين طرق الحفر المعتمدة حسب عدة عوامل أساسية، أهمها طبيعة الصخور و درجة صلابتها، عمق البئر المراد الوصول اليه، قطر الحفر، كمية الموائع المستهدفة، إضافة إلى الإمكانيات التقنية و التجهيزات المتوفرة في موقع المشروع.

4-2- الحفر اليدوي:

يُعد الحفر اليدوي من أبسط و أقدم الطرق المستعملة، و يُطبق أساسًا في الآبار الضحلة ذات الأعماق المحدودة، خاصة في المناطق الريفية أو التي تفتقر إلى التجهيزات الثقيلة. يعتمد هذا الأسلوب على استخدام أدوات بسيطة مثل المجارف، المثاقب اليدوية، و أحيانًا أنابيب بدائية للحفر و التفريغ. يتم الحفر بشكل مباشر بواسطة الجهد البشري دون اعتماد على طاقة ميكانيكية متقدمة و يتميز هذا النوع بانخفاض تكلفته و سهولة تنفيذه، مما يجعله مناسبًا للمشاريع الصغيرة. إلا أنه يعاني من محدودية العمق، و بطء الإنجاز، و عدم ملاءمته للتكوينات الصخرية الصلبة، حيث يُستخدم أساسًا في الطبقات الرملية و الطينية المفككة.

4-3- الحفر بالدق:

يُعرف الحفر بالدق أو الحفر الطرقي بأنه أحد أقدم أساليب الحفر المستخدمة في إنجاز الآبار، و يعتمد على مبدأ الصدم المتكرر لتكسير الصخور و التكوينات الجيولوجية. و تقوم فكرته الأساسية على رفع أداة حفر ثقيلة بواسطة كابل فولاذي ثم إسقاطها بشكل متواصل و متكرر داخل البئر، حيث تؤدي قوة الاصطدام إلى تفتيت الصخور الموجودة في القاع تدريجيًا. و بعد تراكم الفتات الصخري يتم استخراجها باستعمال دلو خاص أو أدوات مخصصة لتنظيف البئر و إزالة نواتج الحفر.



الشكل : II - 31: رسم وصفي لآلة الحفر بالدق - رافعة دق الأوتاد.

و يتطلب هذا النظام مجموعة من المعدات الأساسية، أهمها برج الحفر الذي يحمل معدات الرفع، والكابل الفولاذي المستخدم لتحريك أداة الطرق، بالإضافة إلى أداة الحفر الثقيلة التي تقوم بعملية التكسير، فضلاً عن معدات إزالة الفتات الصخري من قاع البئر.

و يُستخدم هذا النوع من الحفر غالباً في بعض آبار المياه و التكوينات الصخرية الصلبة التي يصعب اختراقها بطرق أخرى.

و من أهم مميزات الحفر بالدق قدرته على العمل في الصخور الصلبة و إعطاء عينات جيولوجية جيدة نسبياً تساعد على دراسة الطبقات المحفورة. كما يتميز بتحملة لظروف التكوينات غير المستقرة التي قد تسبب مشاكل أثناء الحفر بطرق أخرى.

و رغم هذه المزايا، فإن الحفر بالدق يُعتبر بطيئاً مقارنة بالحفر الدوراني، لأنه يعتمد على التكسير المتكرر بدل القطع المستمر للصخور، و انفصال عملية الحفر عن عملية التنظيف مما يؤدي إلى استهلاك وقت و طاقة أكبر. كما أنه غير مناسب لحفر الآبار العميقة بسبب محدودية سرعته و صعوبة المحافظة على مردودية عالية مع زيادة العمق.

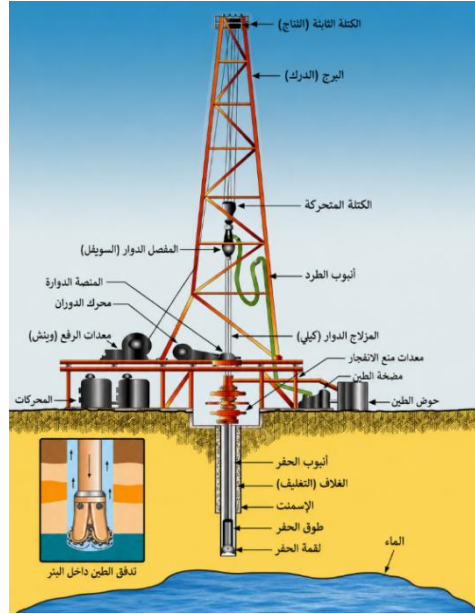
4-4- الحفر الدوراني:

يُعتبر من أكثر تقنيات الحفر استعمالاً في إنجاز آبار الماء و النفط الحديثة لكفاءته العالية، سرعته الكبيرة و قدرته على العمل في مختلف التكوينات الجيولوجية. و تتركز هذه الطريقة على تدوير رأس الحفر بواسطة سلسلة من أنابيب الحفر، مما يؤدي إلى تفتيت الصخور و اختراق الطبقات تدريجياً حتى الوصول إلى العمق المطلوب.

و يعتمد الحفر الدوراني على استخدام سائل الحفر الذي يُضخ باستمرار داخل أنابيب الحفر وصولاً إلى قاع البئر، حيث يقوم بعدة وظائف أساسية، أهمها تبريد رأس الحفر نتيجة الاحتكاك المستمر بالصخور، و المساعدة على تفتيت التكوينات الجيولوجية، إضافة إلى نقل الفتات الصخري الناتج عن الحفر إلى السطح. كما يساهم سائل الحفر في تثبيت جدران البئر و التحكم في الضغط داخل التكوينات الجيولوجية أثناء عملية الحفر.

يتكوّن نظام الحفر الدوراني من عدة معدات رئيسية تعمل بصورة متكاملة لتوفير القدرة اللازمة لعمليات الرفع و الدوران، و كذا رأس الحفر الذي يقوم بتكسير الصخور، إضافة إلى أنابيب الحفر التي تنقل الحركة الدورانية و سائل الحفر إلى قاع البئر.

يضم النظام أيضا مضخات الطين التي تعمل على ضخ سائل الحفر بضغط مناسب، إلى جانب نظام تدوير سائل الحفر الذي يعمل على تنقية الطين و إعادة استخدامه.



الشكل : II - 32 : رسم وصفي لآلة الحفر الدوراني - الروتاري.

و يتميز الحفر الدوراني بسرعة الإنجاز و إمكانية الوصول إلى أعماق كبيرة مقارنة بطرق الحفر التقليدية، كما يسمح بالتحكم الجيد في مسار البئر و تحقيق مردودية عالية في مختلف الظروف الجيولوجية، ليصبح التقنية الأكثر اعتمادًا في مشاريع حفر الآبار الحديثة.

4-5- الحفر بالهواء المضغوط :

يعد الحفر بالهواء المضغوط أحد أنواع الحفر الدوراني التي يُستخدم فيها الهواء المضغوط (المتاح من خلال مولدات الهواء) بدلًا من طين الحفر من أجل تنظيف البئر و إخراج الكسرة إلى السطح. تُستخدم هذه الطريقة بشكل واسع في التكوينات الصخرية الصلبة و في بعض الآبار العميقة، لما توفره من سرعة عالية في الحفر و تحسين في كفاءة تنظيف البئر معتمدة على ضخ الهواء بضغط مرتفع عبر أنابيب الحفر حتى يصل إلى قاع البئر، حيث يقوم بحمل الفتات الصخري (بعد تهشيم الصخور) و نقلها

بسرعة إلى السطح عبر الفراغ الحلقي. و يسهم تدفق الهواء المستمر في تنظيف قاع البئر و تحسين أداء رأس الحفر أثناء عملية الاختراق.

يتطلب هذا النظام مجموعة من المعدات الخاصة، أهمها ضواغط الهواء القوية التي توفر الضغط اللازم لعملية الحفر، بالإضافة إلى أنابيب حفر مصممة لتحمل ضغوط الهواء المرتفعة، فضلاً عن فواصل الغبار التي تُستخدم لفصل الفتات الصخري و الغبار عن الهواء الخارج من البئر حفاظاً على سلامة موقع العمل و المعدات.

و من أهم مميزات الحفر بالهواء المضغوط السرعة العالية في اختراق الصخور، خاصة في التكوينات الصلبة، مما يساهم في تقليل مدة الحفر و زيادة المردودية.

كما يساعد هذا النظام على تقليل تلف الطبقات المنتجة، نظراً لعدم استخدام طين الحفر الذي قد يسبب انسداد المسامات و الشقوق الجيولوجية. إضافة إلى ذلك، يوفر الهواء المضغوط تنظيفاً جيداً لقاع البئر و يساعد على التخلص السريع من الفتات الصخري.

و رغم هذه المزايا، فإن الحفر بالهواء المضغوط لا يُعتبر مناسباً للتكوينات غير المستقرة أو الهشة، لأن غياب طين الحفر يقلل من قدرة النظام على تثبيت جدران البئر. كما يتطلب هذا النوع من الحفر ضغوطاً عالية و معدات قوية، إضافة إلى صعوبة العمل في المناطق التي تحتوي على كميات كبيرة من المياه، حيث يتأثر أداء الهواء المضغوط بوجود السوائل داخل البئر.

و يُستخدم الحفر بالهواء المضغوط بشكل رئيسي في الصخور الصلبة و الآبار العميقة، كما يُعتمد عليه في عمليات الاستكشاف المعدني، الحفر الموجه أو العمودي و بعض المشاريع التي تتطلب سرعة عالية في الحفر و تقليل التأثير على التكوينات المنتجة.

4-6- الحفر بالمطرقة الهوائية :

يُعد الحفر بالمطرقة الهوائية من التقنيات الحديثة و الفعالة في عمليات الحفر، و يعتمد على استخدام مطرقة تعمل بالهواء المضغوط يتم تركيبها مباشرة فوق رأس الحفر داخل البئر. و تُستخدم هذه الطريقة بشكل واسع في التكوينات الصخرية الصلبة نظراً لكفاءتها العالية في التكسير و سرعة اختراقها الكبيرة.

يعتمد مبدأ عمل هذا النظام على ضخ الهواء المضغوط إلى داخل البئر لتشغيل المطرقة الهوائية الموجودة بالقرب من رأس الحفر، حيث تقوم هذه المطرقة بإنتاج صدمات قوية و متكررة مباشرة على رأس الحفر. هذا التأثير الميكانيكي المباشر يزيد من قدرة هذا الأخير على تكسير الصخور بكفاءة عالية، مع دوران عمود الحفر لضمان تقدم عملية الحفر بشكل منتظم.

من أهم مميزات الحفر بالمطرقة الهوائية أنه مناسب جدًا للصخور الصلبة التي يصعب اختراقها بالطرق التقليدية، كما يتميز بسرعة اختراق كبيرة مقارنة بالعديد من تقنيات الحفر الأخرى. بالإضافة إلى ذلك، يوفر دقة عالية في توجيه الحفر و جودة عالية في إنجاز الثقوب.

و رغم هذه المزايا، فإن هذا النظام يستهلك كميات كبيرة من الهواء المضغوط، مما يتطلب ضواغط قوية و ذات قدرة عالية، و هو ما قد يرفع من تكاليف التشغيل. كما أن فعاليته قد تكون محدودة في بعض التكوينات الجيولوجية غير المناسبة، خاصة في المناطق المشبعة بالمياه أو غير المستقرة.

و يُستخدم الحفر بالمطرقة الهوائية بشكل أساسي في حفر آبار المياه، و أعمال التعدين، إضافة إلى المقالع الصخرية، حيث تكون الحاجة إلى سرعة اختراق عالية و قدرة كبيرة على التعامل مع الصخور الصلبة.

4-7- الحفر بالدوران العكسي لسائل الحفر:

يُعد الحفر بالدوران العكسي إحدى تقنيات الحفر الدوراني المتقدمة، حيث يختلف عن الحفر الدوراني التقليدي في مسار حركة سائل الحفر و نقل الفتات الصخري. و تُستخدم هذه الطريقة بشكل خاص في الآبار ذات الأقطار الكبيرة و في أعمال الاستكشاف الجيولوجي، نظرًا لقدرة سائل الحفر على توفير عينات صخرية جيدة و سرعة عالية في تنظيف البئر.

يعتمد مبدأ العمل في الحفر بالدوران العكسي على ضخ سائل الحفر عبر الفراغ الحلقي (بين جدران البئر و أنابيب الحفر)، ثم يعود هذا السائل إلى السطح محملاً بالفتات الصخري عبر داخل أنبوب الحفر نفسه، و ليس عبر الخارج كما في الحفر الدوراني التقليدي. هذا العكس في اتجاه تدفق السائل هو ما يميز هذه التقنية و يعطيها اسم "الدوران العكسي".

و يعرف هذا النظام بعدة مميزات مهمة، من أبرزها السرعة العالية في تنظيف البئر من الفتات الصخري، مما يحسن كفاءة الحفر و يقلل من زمن التوقف. كما أنه مناسب لحفر الأقطار الكبيرة، حيث

يتيح نقل كميات كبيرة من الفتات بكفاءة عالية. بالإضافة إلى ذلك، يوفر هذا النظام عينات جيولوجية جيدة و دقيقة تساعد في دراسة التكوينات الصخرية بشكل أفضل أثناء عمليات الاستكشاف. و رغم هذه المزايا، فإن الحفر بالدوران العكسي يُعتبر مكلفًا من حيث التشغيل، لأنه يتطلب معدات خاصة و أنظمة متطورة للتحكم في تدفق السائل و فصل الفتات الصخري. كما أن استخدامه قد يكون محدودًا في بعض الظروف الجيولوجية التي لا تسمح بكفاءة عالية لهذا النوع من الدوران. و يُستخدم هذا النوع من الحفر بشكل أساسي في آبار المياه ذات الأقطار الكبيرة، إضافة إلى أعمال الاستكشاف الجيولوجي التي تتطلب عينات دقيقة و سرعة في تنفيذ عمليات الحفر.

خلاصة :

يتناول هذا الفصل بشكل عام أهم الطرق والتقنيات المستعملة في حفر و إنجاز الآبار، مع التركيز على الفكرة الأساسية لكل طريقة دون الدخول في التفاصيل التقنية المعمقة. بصفة عامة، تهدف جميع طرق الحفر إلى الوصول إلى الأعماق المطلوبة، و من ثم إلى المكامن، بطريقة آمنة وفعالة، مع مراعاة طبيعة التكوينات الجيولوجية وكلفة الإنجاز والمدة الزمنية و كل ذلك لأهداف اقتصادية.

تختلف طرق الحفر من حيث المبدأ، فهناك طرق تعتمد على الصدم أو الطرق، في حين تعتمد أخرى على الدوران المستمر، إضافة إلى تقنيات حديثة تستخدم الهواء أو سوائل الحفر لتحسين الأداء. كل طريقة تُختار حسب الظروف الميدانية، حيث لا توجد طريقة واحدة صالحة لجميع الحالات. كما أن تطور تقنيات الحفر سمح بتحسين السرعة والدقة وتقليل المخاطر، خاصة في الحفر العميق والمعقد. لذلك أصبحت عملية اختيار طريقة الحفر خطوة أساسية في تصميم أي مشروع إنجاز بئر، لأنها تؤثر مباشرة على نجاح العملية وكلفتها.

الفصل الثالث:

الدراسة التقنية

لعملية التسميت (الإسمنة)

مقدمة :

تُعَدّ عملية التسميت (الإسمنت) من أهم العمليات التقنية المصاحبة لحفر و تجهيز الآبار العميقة، إذ تمثل العنصر الأساسي الذي يضمن سلامة البئر و استقراره خلال مراحل الاستغلال المختلفة. و تكمن أهمية عملية التسميت (الإسمنت) في دورها الحيوي في تثبيت أعمدة التغليف (أنابيب التبطين) داخل البئر، عزل الطبقات الجيولوجية عن بعضها البعض، و منع انتقال الموائع بين التكوينات الحاملة للمياه أو الغازات أو السوائل المختلفة.

و تزداد أهمية هذه العملية في الآبار العميقة ذات التكوينات المعقدة، كالتكوينات المماثلة للألي-البارمي، بسبب ارتفاع الضغوط و درجات الحرارة، إضافة إلى احتمال وجود طبقات ضعيفة أو متشققة قد تؤدي إلى فقدان الملاط الإسمنتي أو حدوث مشاكل في العزل. لذلك فإن نجاح عملية التسميت (الإسمنت) يعتمد على الدراسة الدقيقة للخصائص الجيولوجية و الهيدروديناميكية للبئر.

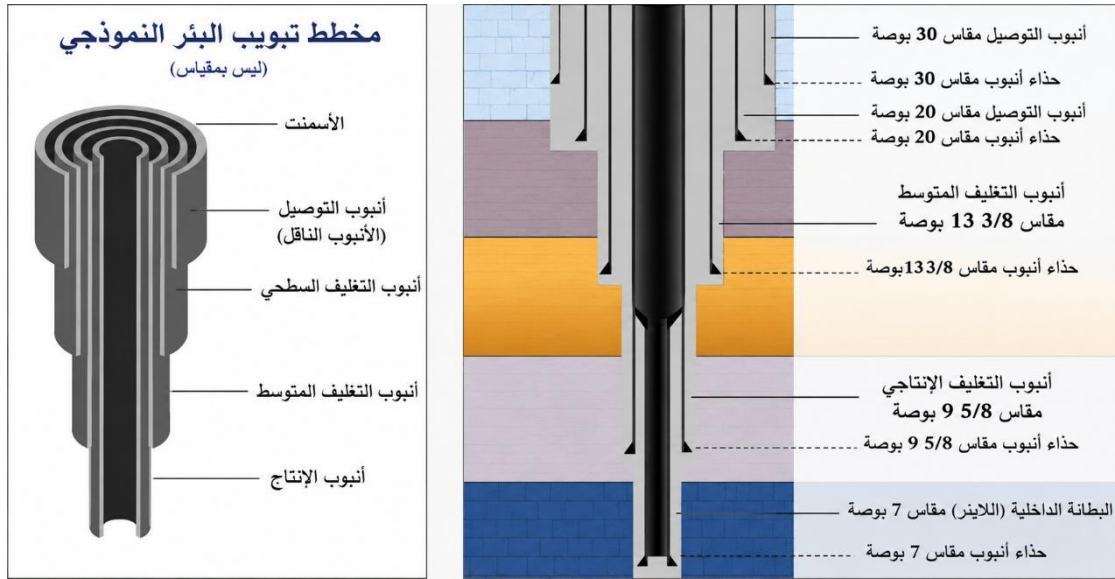
و يهدف هذا الفصل إلى دراسة عملية التسميت (الإسمنت) بتفصيل يشمل تعريفها، أهدافها و أنواعها، إضافة إلى خصائص الإسمنت المستعمل، المواد المضافة للإسمنت، مراحل التنفيذ و المعدات المستعملة ، و أهم المشاكل التي قد تواجه العملية و طرق معالجتها.

1- التسميت (الإسمنت) في الآبار العميقة :

1-1- تعريف التسميت (الإسمنت) :

التسميت (الإسمنت) هي عملية ضخ ملاط إسمنتي داخل البئر لملء الفراغ الحلقي الواقع بين جدار البئر و أنابيب التبطين (أعمدة التغليف)، و ذلك بهدف تثبيت هذه الأعمدة و تحقيق العزل الهيدروليكي بين الطبقات الجيولوجية المختلفة. و بعد انتهاء عملية الضخ يتصلب الملاط الإسمنتي مكوناً (غمداً عازلاً) غلافًا صلبًا يضمن سلامة البئر و استقراره. و يُحضّر الملاط الإسمنتي عادة من خليط يتكون من الإسمنت (البودرة) و الماء مع مجموعة من المواد الكيميائية المضافة التي تتحكم في خصائصه الفيزيائية و الكيميائية.

أبرز هذه الخصائص الكثافة، اللزوجة، زمن التصلب (الابتدائي والنهائي)، مقاومة الحرارة والضغط، وفقدان السوائل... الخ.



الشكل : III - 01 : البرنامج النموذجي لتبطين البئر.

و يعتبر التسميت من العمليات الحساسة في مجال حفر الآبار، لأن أي خلل فيها قد يؤدي إلى مشاكل خطيرة مثل تسرب المياه بين الطبقات، انهيار جدران البئر، أو تلف أنابيب التبطين، و هو الشيء الذي يؤثر سلبًا على مردودية البئر و عمره التشغيلي.

1-2- أهداف التسميت (الإسمنتية) :

نسعى من خلال عمليات التسميت إلى تحقيق مجموعة من الأهداف التقنية الأساسية التي تضمن نجاح عملية حفر و تجهيز البئر و استغلاله بطريقة آمنة و فعالة:

❖ **تثبيت أنابيب التبطين :** يعمل التسميت على تثبيت أنابيب التبطين داخل البئر و منع حركتها نتيجة الضغوط أو الاهتزازات الناتجة عن عمليات الحفر و الإنتاج، مما يساهم في المحافظة على استقرار البئر.

❖ **العزل بين الطبقات الجيولوجية :** يُعد العزل الهيدروليكي من أهم وظائف التسميت، حيث يمنع انتقال الموائع (ماء، غاز، نفط) بين الطبقات المختلفة، خاصة بين الطبقات المالحة أو تلك الحاملة للمياه الصالحة للاستعمال.

❖ **حماية أنابيب التبتين :** يشكل الغلاف الإسمنتي طبقة حماية للأنابيب المعدنية ضد التآكل الناتج عن المياه الجوفية (المعدنة)، الغازات العدوانية مثل ثاني أكسيد الكربون و كبريتيد الهيدروجين.

❖ **تدعيم جدران البئر:** يساعد التسميت على تقوية و استقرار جدران البئر، خصوصاً في التكوينات الهشة أو المفككة.

1-3- أنوع التسميت (الإسمنتة) :

تنقسم عمليات التسميت في مجال حفر الآبار إلى عدة أنواع، تختلف باختلاف الهدف من العملية و مرحلة تنفيذها داخل البئر. و تُعد الإسمنتة (التسميت) من العمليات الأساسية التي تساهم في تثبيت البئر، عزل الطبقات الجيولوجية، ضمان سلامة الإنتاج و الاستغلال مستقبلاً. وتنقسم بشكل رئيسي إلى إسمنتة أولية و إسمنتة ثانوية أو تصحيحية.

1-3-1- الإسمنتة (التسميت) الأولية:

تُجرى مباشرة بعد إنزال أنابيب التبتين داخل البئر، حيث يُضخ الملاط الإسمنتي عبر هاتة الأخيرة ثم يرتفع داخل الفراغ الحلقي (بين جدران البئر و أنابيب التبتين) حتى يصل إلى الارتفاع المطلوب. و تهدف هذه العملية إلى تثبيت أنابيب التبتين داخل البئر و منع حركتها، إضافة إلى عزل الطبقات الجيولوجية عن بعضها البعض لمنع انتقال الموائع بينها.

كما يساعد التسميت الأولي على حماية جدران البئر من الانهيار و منع تسرب النفط أو الغاز أو المياه بين الطبقات المختلفة، لذلك تُعتبر هذه المرحلة من أهم خطوات تجهيز البئر و أكثرها تأثيراً على نجاح عمليات الحفر و الإنتاج (لاحقاً).

1-3-2- الإسمنتة (التسميت) الثانوية أو التصحيحية:

تُنفذ هذه الخطوة عند حدوث خلل في التسميت الأولي أو عند ظهور مشاكل تشغيلية أثناء استغلال البئر. و تهدف هذه العمليات إلى تحسين العزل الإسمنتي أو معالجة الأعطال و التسربات التي قد تؤثر على سلامة البئر و كفاءته التشغيلية، و من أهم أنوع الإسمنتة التصحيحية :

1-2-3-1- التسميت بالضغط (الإسمنتية الضاغطة):

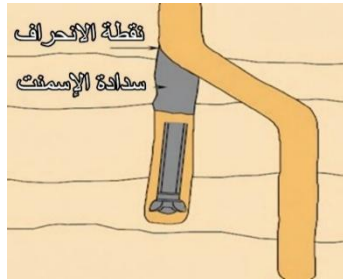
و هي عملية تُستخدم لسد الشقوق أو الثقوب أو المناطق التي لم يتم عزلها بشكل جيد، حيث يُضخ الإسمنت تحت ضغط مرتفع لإجباره على الدخول إلى الفراغات و الشقوق الموجودة داخل التكوينات أو خلف أعمدة التغليف.

1-2-3-2- إسمنتية إصلاح التغليف:

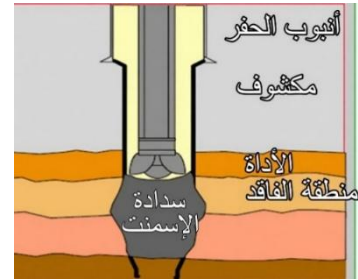
و هي عملية تُجرى لمعالجة التسربات أو الأضرار التي قد تصيب أنابيب التبطين نتيجة التآكل أو الضغوط المختلفة أثناء تشغيل البئر، حيث تساعد على استعادة سلامة التغليف و ضمان استمرار البئر في العمل بأمان و كفاءة.

1-2-3-3- الإسمنتية السدادية (سدادة التسميت):

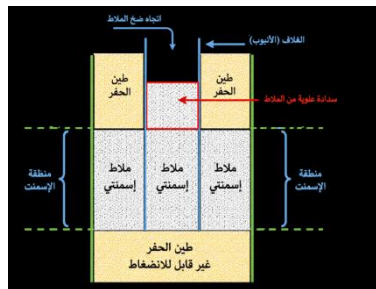
و تُستعمل لإنشاء سدادات إسمنتية داخل البئر بهدف عزل مناطق معينة أو إغلاق أجزاء من البئر بشكل مؤقت أو دائم، و تُستخدم هذه الطريقة في العديد من العمليات مثل إيقاف تدفق الموائع أو عند التخلي النهائي عن البئر. نعطي في ما يلي بعض الأمثلة عن سدادات التسميت و حالات استعمالها حسب الوضعيات التي تحتاج إلى ذلك و دواعي استعمالها حسب ضرورة.



الشكل : III - 03 : أحداث حيود.



الشكل : III - 02 : سد و تغطية مناطق التسرب.



الشكل : III - 04 : وضع سدادة تسميت.

1-4- خصائص الإسمنت المستعمل في قطاع حفر الآبار :

يجب أن يتمتع الإسمنت المستعمل في ميدان الحفر (آبار المياه، النفط) بمجموعة من الخصائص التقنية و الفيزيائية التي تمكنه من تحمل الظروف القاسية داخل البئر، مثل الضغط المرتفع و درجات الحرارة العالية و أعماق الحفر الكبيرة. و تؤثر هذه الخصائص بشكل مباشر على نجاح عملية التسميت (الإسمنت) و جودة العزل بين الطبقات الجيولوجية، لذلك يتم اختيار نوع الإسمنت و تصميم الملاط الإسمنتي بعناية وفق طبيعة البئر و ظروفه التشغيلية.

1-4-1- الكثافة:

تعد هاته الخاصية من أهم ما يميز الملاط الإسمنتي، إذ تؤثر بشكل مباشر على الضغط الهيدروستاتيكي داخل البئر. و يتم تحديد كثافة الإسمنت بعناية لضمان تحقيق التوازن الضغطي المناسب داخل التكوينات الجيولوجية، حيث إن انخفاض الكثافة قد يؤدي إلى اندفاع الموائع من الطبقات، بينما قد تتسبب الكثافة المرتفعة في فقدان الملاط داخل التكوينات الضعيفة أو المتشققة أو تتسبب هي بنفسها في احداث تشققات أو انكسارات.

1-4-2- زمن الانضخاضية :

و هو المدة الزمنية التي يبلغ فيها الملاط الإسمنتي لزوجة أو قوام (تماسك) مقداره 100 بواز. أما من الناحية العملية فهو المقدار الزمني الذي يبقى خلاله الملاط الإسمنتي قابلاً للضخ قبل أن يبدأ في التصلب (و لا يمكن ضخه من بعد ذلك)، و يجب أن يكون هذا الزمن كافياً للسماح بإتمام عملية الضخ و وصول الإسمنت إلى المكان المطلوب داخل الفراغ الحلقي دون حدوث تصلب مبكر قد يعيق العملية.

1-4-3- زمن التصلب:

هو الفترة الزمنية التي خلالها يبدأ الملاط الإسمنتي على فقدان قابليته للضخ أي يبدأ في التصلب (و لا يمكن ضخه بعد ذلك) و يقاس تصلب الملاط الإسمنتي بواسطة إبرة فيكا.

عمليا نتكلم عن زمن التصلب الأولي و النهائي. نطلق الإبرة على عينة من الملاط الإسمنتي كل خمس دقائق و نراقب مدى الاختراق (تصلب 1مم) و يسمى هذا التصلب الأولي. و عندما لا يتجاوز الاختراق (1مم) فهنا نتحدث عن التصلب النهائي.

1-4-4- مقاومة الضغط :

كما يتميز الإسمنت المستعمل في حقل حفر الآبار بضرورة امتلاكه مقاومة ضغط عالية بعد التصلب، ليتمكن من تحمل الضغوط الجيولوجية و الميكانيكية المؤثرة داخل البئر. و تساعد هذه الخاصية على تثبيت أنابيب التبطين و المحافظة على سلامة البئر طوال فترة الاستغلال.

1-4-5- فقدان السوائل :

و يُعتبر فقدان السوائل من الخصائص المهمة كذلك، حيث يجب أن يكون فقدان الماء من الملاط الإسمنتي محدودًا أثناء عملية الضخ، لأن فقدان كميات كبيرة من السوائل قد يؤدي إلى تغير خواص الإسمنت و تقليل كفاءته في تحقيق العزل المطلوب داخل البئر.

1-4-6- اللزوجة و السيولة :

أما اللزوجة و السيولة فلهما تأثير و بصورة مباشرة على سهولة ضخ الملاط الإسمنتي و قدرته على الانتشار داخل الفراغ الحلقي بشكل متجانس، لذلك يجب أن يتمتع الملاط بدرجة مناسبة من السيولة تسمح له بملء جميع الفراغات و الشقوق المحيطة بأنابيب التبطين دون صعوبة، مع الحفاظ في الوقت نفسه على استقراره و عدم ترسب مكوناته أثناء الضخ.

1-5- المواد المضافة للإسمنت (المضافات) :

تستخدم المضافات في عمليات تسميت الآبار بهدف تحسين خصائص الملاط الإسمنتي و تكييفه مع ظروف البئر المختلفة (العمق، درجة الحرارة، الضغط و طبيعة التكوينات الجيولوجية). تُضاف هذه المواد بنسب مدروسة للحصول على خصائص فيزيائية و كيميائية مناسبة ضمانا لنجاعة التسميت و تحقيق العزل المطلوب داخل البئر. من أهمها :

1-5-1- معجلات التصلب (المسرعات) :

تستخدم المعجلات لتقليص زمن تصلب الملاط الإسمنتي، خاصة في الآبار التي تتميز بدرجات حرارة منخفضة، حيث تساعد على تسريع عملية التصلب و تقليل الزمن اللازم لانتظار تماسك الإسمنت قبل استئناف عمليات الحفر أو التشغيل. من بين هاته المسرعات : كلوريد الصوديوم ، كلوريد الكالسيوم و مياه البحر أحيانا ...

1-5-2- مبطنات التماسك (المبطنات) :

و في المقابل، تستخدم المبطنات لتأخير زمن تصلب الملاط الإسمنتي، خصوصاً في الآبار العميقة ذات درجات الحرارة المرتفعة. و تساعد هذه المواد على إبقاء الإسمنت في حالة قابلة للضخ لفترة كافية تسمح بإتمام عملية التسميت دون حدوث تصلب مبكر داخل الأنابيب أو معدات الضخ. من بين المبطنات : السليلوز المشتق ، الأحماض العضوية ...

1-5-3- المرجحات أو المثقلات (مواد زيادة الكثافة) :

تُضاف لرفع كثافة الملاط الإسمنتي من أجل مواجهة الضغوط المرتفعة لبعض الطبقات الجيولوجية، مما يساعد على تحقيق التوازن الضغطي و منع تدفق الموائع من الطبقات إلى داخل البئر أثناء عملية التسميت. نذكر منها : الباريت، الهيماتيت، كربونات الكالسيوم ...

1-5-4- مخففات القوام (تخفيض الكثافة) :

تُستخدم في التكوينات الضعيفة أو الهشة التي لا تتحمل ضغوطاً مرتفعة، حيث تعمل على تقليل الضغط الهيدروستاتيكي للملاط الإسمنتي على جدران البئر، و بالتالي الحد من احتمال فقدان الإسمنت داخل الطبقات أو حدوث تشققات في التكوينات الجيولوجية. نذكر على سبيل المثال : البنتونايت، الرغوة و البرلايت ...

1-5-5- مواد تقليل فقدان السوائل :

تساعد على الحد من تسرب الماء من الملاط الإسمنتي إلى التكوينات المحيطة أثناء الضخ، و تساهم كذلك في المحافظة على استقرار الملاط و تحسين خواصه التشغيلية الشيء الذي يضمن تكوين غلاف إسمنتي متجانس و فعال حول أنابيب التبطين. من بينها : النشأ ، كربوكسي ميثيل سليولوز

1-6- معدات وآلات عملية الإسمنت :

تُعتبر المعدات و الآلات المستعملة في عملية الإسمنت من العناصر الأساسية التي تضمن نجاح تثبيت أنابيب التبطين و تحقيق العزل الجيد بين الطبقات الجيولوجية المختلفة. و تتم عملية الإسمنت باستعمال منظومة متكاملة من التجهيزات السطحية و أدوات قاع البئر، حيث تعمل هذه المعدات بصورة منسقة لتحضير الملاط الإسمنتي و ضخه داخل البئر تحت ضغط مناسب، مع مراقبة مختلف المعطيات التقنية أثناء التنفيذ.

و تختلف طبيعة المعدات المستعملة حسب نوع البئر، عمقه، طبيعة التكوينات الجيولوجية و الهدف من عملية الإسمنت، إلا أن أغلب عمليات التسميت تعتمد على معدات أساسية متشابهة من حيث الوظيفة و مبدأ العمل. و من أهم المعدات ما يلي:

1-6-1- وحدة الإسمنت :

تُعتبر وحدة الإسمنت من أهم التجهيزات المستعملة في عمليات الإسمنت، حيث تمثل المركز الرئيسي للتحكم في العملية كاملة، و تتكون هذه الوحدة عادة من مجموعة من المضخات، الخلاطات، خزانات الماء، أجهزة القياس و المراقبة، إضافة إلى أنظمة التحكم المختلفة، و غالبًا ما تكون هذه المعدات مركبة فوق شاحنات خاصة تسمح بنقلها بسهولة إلى مواقع الحفر المختلفة.

تقوم وحدة الإسمنت بتحضير الملاط الإسمنتي و ضخه داخل البئر وفق شروط تقنية محددة تتعلق بالكثافة، الضغط، معدل التدفق و زمن الضخ، مع ضمان استمرارية العملية دون انقطاع. كما تسمح بمراقبة مختلف المعطيات التشغيلية أثناء التنفيذ، مثل ضغط الضخ و حجم الإسمنت المحقون داخل البئر. (انظر الشكل III - 05)

و تتميز وحدات الإسمنت الحديثة باحتوائها على أنظمة رقمية متطورة تساعد على التحكم الآلي في عملية الخلط و الضخ و تحسين دقة العمليات الميدانية، مما يساهم في رفع جودة الإسمنت و تقليل الأخطاء التشغيلية. (انظر الشكل III - 05).

1-6-2- خلاطات الإسمنت:

تُستخدم خلاطات الإسمنت لتحضير الملاط الإسمنتي من خلال مزج الإسمنت بالماء و المواد المضافة الكيميائية بنسب محددة و مدروسة مسبقًا حسب ظروف البئر.

و تُعتبر عملية الخلط من المراحل الحساسة في الإسمنت، لأن أي خلل في نسب المزج قد يؤثر بصورة مباشرة على خصائص الملاط الإسمنتي و جودة العزل داخل البئر.

تعتمد الخلطات على أنظمة ميكانيكية أو هيدروليكية تسمح بالحصول على خليط متجانس يمتلك الخصائص المطلوبة مثل الكثافة المناسبة، اللزوجة، مقاومة الضغط، و زمن التصلب المطلوب. كما تُسهم هذه الخلطات في منع تشكل التكتلات داخل الملاط الإسمنتي و ضمان تجانس المواد المضافة مع الإسمنت.

و توجد عدة أنواع من الخلطات، منها الخلطات المستمرة التي تعمل بصورة متواصلة أثناء عملية الضخ، و الخلطات الدورية التي تعتمد على تحضير كميات محددة من الملاط على دفعات متتالية. (انظر الشكل III- 05).

1-6-3- مضخات الإسمنت:

تُستخدم مضخات الإسمنت لضخ الملاط الإسمنتي داخل أنابيب التبطين وصولاً إلى قاع البئر، ثم دفعه نحو الفراغ الحلقي بين جدران البئر و أنابيب التبطين. و تُعتبر هذه المضخات من أهم معدات الإسمنت لأنها تتحكم في الضغط و معدل التدفق أثناء عملية الضخ.

تعمل مضخات الإسمنت تحت ضغوط عالية تسمح بدفع الملاط لمسافات و أعماق كبيرة داخل البئر، خاصة في تلك العميقة منها و ذات الضغوط المرتفعة. كما يجب أن تكون هذه المضخات قادرة على تحمل الخواص الكاشطة للإسمنت دون تعرضها للتلف السريع.

و يتم التحكم في سرعة الضخ و الضغط الهيدروليكي وفق معطيات مدروسة مسبقاً، و ذلك لتجنب حدوث مشاكل مثل فقدان الإسمنت داخل التكوينات الضعيفة أو تكسير الطبقات الجيولوجية نتيجة الضغط المفرط. (انظر الشكل III- 05).

1-6-4- خزانات الماء و الإسمنت :

تُستخدم خزانات خاصة لتخزين الماء و الإسمنت الجاف قبل عملية الخلط. و تضمن هذه الخزانات توفير الكميات اللازمة بصورة مستمرة أثناء تنفيذ عملية الإسمنت، مما يسمح بتفادي التوقفات المفاجئة أثناء الضخ.

تتميز خزانات الإسمنت بأنها محكمة الإغلاق لحمايته من الرطوبة و العوامل الجوية التي قد تؤثر على خصائصه الكيميائية.

أما خزانات الماء، فتُستخدم لتوفير المياه اللازمة لتحضير الملاط الإسمنتي وفق النسب المحددة مسبقاً في برنامج التسميت. و في بعض العمليات تُستخدم خزانات إضافية لتخزين المواد الكيميائية المضافة للإسمنت، مثل المواد المسرعة أو المبطة للتصلب، و مواد تقليل فقدان السوائل أو تحسين الكثافة. (انظر الشكل III- 05)



الشكل : III - 05 : وحدة ضخ و مزج الملاط الإسمنتي المتنقلة.

1-6-5- خطوط الضخ و أجهزة المراقبة :

تضم عملية الإسمنتة مجموعة من خطوط الضخ المعدنية التي تُستخدم لنقل الملاط الإسمنتي من وحدة الإسمنتة نحو رأس البئر. كما تحتوي هذه المنظومة على صمامات و أجهزة قياس مختلفة لمراقبة الضغط و معدل التدفق و الكميات المحقونة أثناء التنفيذ. و تسمح أجهزة المراقبة بمتابعة تطور العملية لحظة بلحظة، مما يساعد على اكتشاف أي خلل أو تغير غير طبيعي في الضغط أو التدفق قد يشير إلى وجود مشاكل داخل البئر مثل فقدان الإسمنت أو انسداد خطوط الضخ.

كما تساهم هذه الأجهزة في ضمان سلامة العملية وحماية المعدات والعاملين داخل موقع الحفر.



الشكل : III - 06 : خطوط الضخ وأجهزة المراقبة .

1-6-6- رأس الإسمنتية :

هو جهاز يُركب أعلى أنابيب التبطين أثناء عملية الإسمنتية، و يُستخدم لتوجيه الملاط الإسمنتي داخل البئر و التحكم في مرور سدادات التسميت أثناء عملية الضخ. يسمح هذا الجهاز بإدخال السدادات الإسمنتية بطريقة منظمة داخل أنابيب التغليف، كما يضمن فصل الملاط الإسمنتي عن موائع الحفر لمنع اختلاطهما أثناء العملية. ويساهم رأس الإسمنتية في تحسين كفاءة الإزاحة والحصول على عزل إسمنتي جيد داخل الفراغ الحلقي. ويحتوي رأس الإسمنتية على صمامات ومنافذ خاصة تسمح بالتحكم في اتجاه التدفق وضغط الضخ أثناء مختلف مراحل العملية.



الشكل : III - 07: رأس الإسمنتية.

1-6-7- سدادات التسميت:

تُستخدم سدادات التسميت لاحتواء الملاط الإسمنتي و عزله عن سائل الفصل من الأسفل و سائل الإزاحة من الأعلى لكي لا يختلط بسائل الحفر داخل أنابيب التبطين و يفقد عند ذلك كل منهما خصائصه (أثناء عملية الضخ). و هي في الأصل نوعان، سدادة سفلية (ذات غشاء قابل للتلاشي) و سدادة علوية (غير نفوذة)، حيث تؤدي كل واحدة وظيفة محددة ضمن مراحل الإسمنتية. تطلق السدادة السفلية أولاً داخل أنبوب التبطين، و تعمل على فصل سائل الحفر عن الملاط الإسمنتي مع السماح بمرور هذا الأخير بعد وصولها إلى حلقة الاحتجاز الموجودة أسفل الأنبوب. أما السدادة العلوية فتطلق بعد ضخ الملاط الإسمنتي، حيث تفصله عن سائل الإزاحة الذي يُستخدم لدفع الملاط نحو الفراغ الحلقي.

و تساعد هذه السدادات، كما سبق ذكره، على منع تلوث الملاط الإسمنتي بسائل الحفر و تحسين جودة العزل داخل البئر.



الشكل : III - 08 : سدادة تسميت (سفلية و علوية).

1-7- مراحل تنفيذ عملية التسميت:

تمر عملية التسميت في حقل حفر الآبار بعدة مراحل مترابطة، تُنفذ وفق تسلسل دقيق لضمان نجاح العملية و تحقيق العزل المطلوب بين الطبقات الجيولوجية. و تُعد هذه المراحل ضرورية للحصول على غمد إسمنتي متجانس قادر على تثبيت أنابيب التبطين و حماية البئر طوال فترة استغلاله :

1-7-1- تنظيف البئر :

تسهم هذه العملية في التخلص من بقايا الحفر و الطين و الفتات الصخري الموجود داخل البئر باستعمال سوائل الحفر و عمليات التدوير المناسبة. و تهدف هذه المرحلة إلى ضمان التصاق جيد بين الإسمنت من جهة و جدران البئر و أنابيب التبطين من جهة أخرى، لأن وجود الرواسب أو الطين قد يؤدي إلى ضعف العزل الإسمنتي و ظهور قنوات لتسرب الموائع.

1-7-2- إنزال أنابيب التبطين (أعمدة التغليف) :

يتم إنزال أنابيب التبطين داخل البئر وفق التصميم الهندسي المحدد مسبقاً، ثم تُثبت في العمق المطلوب حسب طبيعة التكوينات الجيولوجية و ظروف الحفر. و تُعتبر هذه المرحلة أساسية لأنها تحدد المساحة التي سيتم ملؤها بالملاط الإسمنتي داخل الفراغ الحلقي.

1-7-3- تركيب معدات التسميت :

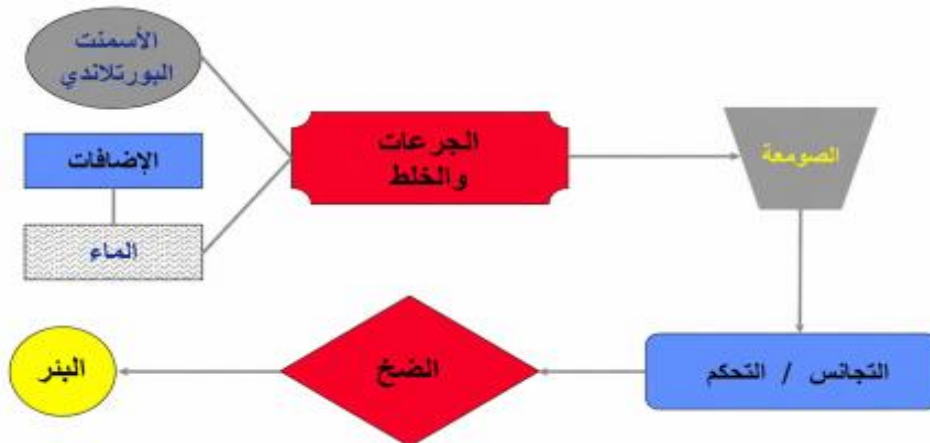
وتشمل تجهيز رأس التسميت، السدادات (العلوي و السفلي)، وحدة الضخ وجميع المعدات الضرورية لإتمام العملية. وتستخدم هذه التجهيزات للتحكم في حركة الملاط الإسمنتي وضمان ضخه بطريقة صحيحة وآمنة داخل البئر. (انظر الشكل III- 09).



الشكل : III - 09: وحدة التسميت مع المخلاط، رأس التسميت، صومعة التخزين و وحدة الضخ.

1-7-4- تحضير الملاط الإسمنتي :

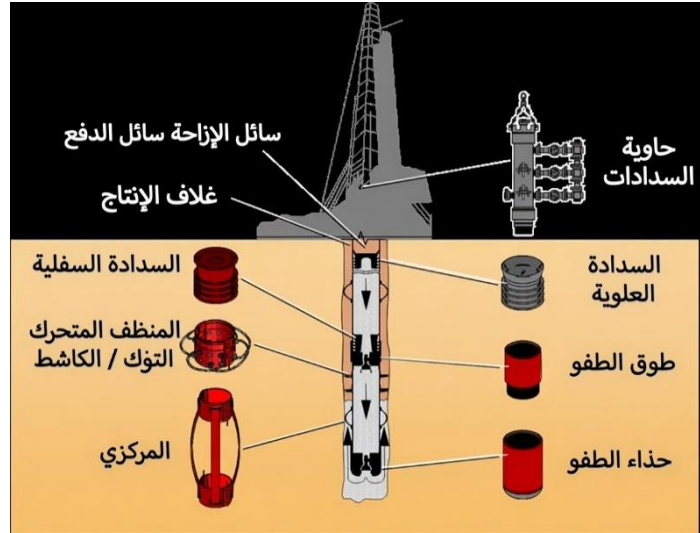
يُخلط الإسمنت بالماء و المواد المضافة وفق نسب مدروسة للحصول على الخصائص المطلوبة مثل الكثافة المناسبة، زمن التصلب و السيولة. و تختلف تركيبة الملاط حسب ظروف البئر من حيث العمق، الضغط و درجة الحرارة.



الشكل : III - 10: عملية و مراحل تحضير ملاط الاسمنت.

1-7-5- ضخ الملاط الإسمنتي :

يتم ضخ الملاط الإسمنتي داخل أنابيب التبطين باستعمال مضخات خاصة، حيث ينتقل الإسمنت عبر الأنابيب حتى يصل إلى أسفل البئر ثم يصعد داخل الفراغ الحلقي المحصور بين أنابيب التبطين و جدران البئر.



الشكل : III - 11 : عملية تهيئة أنابيب التبطين و تزويدها بملحقات (إكسسوارات) التسميت.

1-7-6- عملية إزاحة الملاط الإسمنتي :

و بعد ضخ الكمية المطلوبة من الملاط الإسمنتي تُجرى عملية دفعه ليلبغ الأفق المراد تسميته، و ذلك بضخ سوائل خاصة (سائل مباعد أو فاصل) لدفع الملاط الإسمنتي نحو الأعلى، يعني من داخل أنابيب التبطين إلى الفراغ الحلقي و ضمان صعوده و توزيعه بشكل متجانس حول أنابيب التبطين. و تساعد هذه العملية على منع بقاء الإسمنت داخل الأنابيب و تحقيق عزل جيد بين الطبقات.

1-7-7- تصلب الإسمنت :

في المرحلة الأخيرة، يتم انتظار تصلب الملاط الإسمنتي، حيث يُترك و شأنه ليلبغ درجة التصلب و يكتسب مقاومته الميكانيكية النهائية (قبل استئناف عمليات الحفر أو تشغيل البئر). و تختلف مدة الانتظار حسب نوع الإسمنت و درجة الحرارة و الضغط داخل البئر.

ملاحظة : بعد انتهاء فترة تصلب الإسمنت، يتم عادةً إجراء "اختبار الضغط" للتأكد من جودة العزل قبل الشروع في حفر المرحلة الموالية من البئر.

1-8- مشاكل التسميت و طرق معالجتها :

قد تواجه عملية التسميت عدة مشاكل تقنية تؤثر على جودة العزل الإسمنتي و سلامة البئر، لذلك يجب التعرف على هذه المشاكل و معالجتها بسرعة لضمان نجاح عملية التسميت و تحقيق الأداء المطلوب. و ترتبط معظم هذه المشاكل بظروف البئر و طبيعة التكوينات الجيولوجية و جودة تصميم الملاط الإسمنتي و طرق التنفيذ الميداني، و من أبرز هذه المشاكل :

1-8-1- فقدان الملاط الإسمنتي :

حدوث هذه المشكلة ينتج عادة عن وجود شقوق أو تكوينات جيولوجية ذات نفاذية عالية تسمح بتسرب الملاط الإسمنتي إلى داخل الطبقات أثناء الضخ، و يؤدي ذلك إلى نقص كمية الإسمنت داخل الفراغ الحلقي و عدم تحقيق العزل المطلوب. و لمعالجة هذه المسألة يتم استعمال إسمنت منخفض الكثافة لتقليل الضغط على التكوينات الضعيفة، كما تُستخدم مواد خاصة مانعة للفقدان تساعد على سد الشقوق و الحد من تسرب الملاط داخل الطبقات.

1-8-2- القنوات الإسمنتية :

هي في الواقع مسارات أو فراغات تتشكل داخل الغلاف الإسمنتي نتيجة سوء تنظيف البئر أو عدم تمركز أنابيب التبطين داخل البئر بشكل صحيح و تؤدي هذه القنوات إلى انتقال الموائع بين الطبقات الجيولوجية و فشل عملية العزل. و لتفادي هذه المشكلة يجب تحسين عملية تنظيف البئر قبل التسميت للتخلص من بقايا طين الحفر و الفتات الصخري، بالإضافة إلى استخدام الممرزات التي تساعد على إبقاء أنابيب التبطين ممرزة حول محور البئر لضمان توزيع الملاط الإسمنتي بشكل متجانس (حولها).

1-8-3- التصلب المبكر للملاط الإسمنتي :

يحدث ذلك خاصة في الآبار العميقة (درجة حرارة مرتفعة) أو عند سوء تصميم تركيبة الملاط. و يؤدي هذا الأمر إلى تصلب الإسمنت قبل انتهاء عملية الضخ، مما يسبب انسداد الأنابيب أو فشل العملية. و تتم معالجة هذه المشكلة بإضافة المبطنات التي تعمل على تمديد زمن التصلب، إضافة إلى التحكم الجيد في سرعة و زمن الضخ أثناء التنفيذ.

1-8-4- ضعف الالتصاق بين الإسمنت و جدران البئر أو أنابيب التبطين :

غالبًا ما يحدث هذا الأمر بسبب بقاء طبقة من طين الحفر أو الرواسب على جدران البئر قبل عملية التسميت. و يؤثر هذا الخلل على جودة العزل الإسمنتي و قد يؤدي إلى تسرب الموائع مستقبلًا. و لتفادي ذلك يجب تنظيف البئر جيدًا قبل بدء عملية التسميت باستعمال سوائل تنظيف و سلسلة تدوير فعالة تضمن إزالة الطين و الشوائب من جدران البئر.

خلاصة :

تم في هذا الفصل التطرق إلى عملية التسميت باعتبارها مرحلة أساسية في حفر الآبار، حيث تم شرح مفهومها و أهدافها المختلفة، إضافة إلى عرض أنواع التسميت و خصائص الإسمنت المستخدم في حقل حفر الآبار. كما تم التطرق إلى المواد المضافة التي تساعد على تحسين خواص الملاط الإسمنتي حسب ظروف الحفر.

كذلك، تناول الفصل مراحل تنفيذ عملية الإسمنت، مع توضيح أهم المشاكل التي قد تظهر أثناء العملية و طرق معالجتها. و في الأخير، تبين أن نجاح عملية التسميت يساهم بشكل كبير في ضمان سلامة البئر واستقراره وتحسين مردوده التشغيلي.

الجانِبُ التّطبيقي

الفصل الرابع :

الدراسة التطبيقية و حسابات
التسميت الحالة النموذجية للبئر
الألبي-البريمي سيدي عمران

مقدمة :

بعد التطرق في الفصل النظري للمبادئ الأساسية لعملية التسميت في حقل حفر الآبار، من حيث تعريفها و أهدافها و موادها و تقنياتها المختلفة، يأتي هذا الفصل التطبيقي ليجسد تلك المفاهيم على أرض الواقع من خلال دراسة حالة فعلية (بئر سيدي عمران).

يهدف هذا الفصل إلى تحليل الجوانب العملية لعمليات الحفر و التسميت المنجزة في هذا المشروع، مع التركيز على تسلسل المراحل الهندسية المعتمدة، و الظروف الجيولوجية و التشغيلية التي رافقت التنفيذ، إضافة إلى تقييم مدى توافق التصميم النظري مع التطبيق الفعلي الميداني.

يتناول هذا الجزء من الدراسة أيضا برنامج الحفر المعتمد، تصميم التبتين، و طريقة تنفيذ التسميت في مختلف المراحل، مع إبراز الخصائص التقنية للمواد المستعملة، و خاصة نوع الإسمنت و دوافع اختياره في هذا البئر، في ظل العمق و طبيعة التكوينات الجيولوجية.

و يُختتم هذا الفصل بتحليل عام لنتائج العمليات المنجزة، و تقييم فعاليتها من حيث العزل الجيد للطبقات و تحقيق السلامة البئرية، مع الإشارة إلى أهم التحديات التي قد تكون واجهت سير العمليات إن وجدت، و ذلك بهدف استخلاص صورة هندسية شاملة عن أداء عملية الحفر و التسميت في بئر سيدي عمران.

1- مراحل الحفر، التبطين، عمليات التسميت و حساباتها لبئر سيدي عمران:

1-1- المرحلة الأولى :

تم حفر المرحلة الأولى من البئر باستعمال دقاقة (رأس الحفر) ذات قطر 36 بوصة ابتداء من السطح إلى عمق 72 متر، يجدر بنا الإشارة إلى أن سبب اختيار القطر في المرحلة الأولى لكونه يوفر حيزاً كافياً لإنزال أنبوب بقطر 28 بوصة مع تأمين فراغ حلقي مناسب لعملية التسميت.

كما يساهم هذا القطر الكبير في تدعيم الطبقات السطحية الهشة و منع انهيارها، و رفع كفاءة عمليات الإسمنتة السطحية، إضافة إلى ضمان إمكانية إنزال أنابيب التبطين اللاحقة ذات الأقطار الأصغر خلال مراحل الحفر العميقة، كما أن توقف الحفر عند العمق 72 متر يعود إلى عدة أسباب تقنية و جيولوجية، أهمها : الوصول إلى طبقات أكثر تماسكاً و استقراراً تسمح بتثبيت الأنابيب السطحي بشكل جيد، عزل الطبقات السطحية الهشة و منع انهيار جدران البئر أثناء الحفر، حماية المياه السطحية أو الطبقات المائية القريبة من التلوث بطين الحفر و الإسمنت، تثبيت فوهة البئر و تجهيزها لتحمل معدات الحفر و الضغوط اللاحقة، توفير قاعدة آمنة لمواصلة الحفر بالأقطار الأصغر في المراحل التالية.

بعدها تم إنزال الأنابيب ذات القطر 28 بوصة إلى العمق الحالي، حيث تم اختيار هذا النوع من المواسير نظراً لكونها مطابقة للمواصفات المعيارية العالمية الصادرة عن المعهد الأمريكي للبترول، و التي تضمن مقاومة عالية للضغط و الانهيار و الإجهادات الميكانيكية أثناء عمليات الحفر و التسميت، كما تتميز هذه الأنابيب بجودة تصنيع عالية و دقة في الأبعاد، مما يساهم في تحسين عملية التسميت و تحقيق عزل جيد للطبقات الجيولوجية، إضافة إلى ملائمتها للآبار العميقة و قدرتها على مقاومة التآكل و الظروف التشغيلية القاسية.

بعد إتمام الحفر و التبطين تم تسميت الفراغ الحلقي بين جدران البئر و الأنابيب باستعمال إسمنت عالي المقاومة الحرارية بكثافة 1.8 و الذي يتميز ب : مقاومة عالية لدرجات الحرارة المرتفعة، تحمل الضغوط العالية داخل الآبار العميقة، ثبات كيميائي و مقاومة للتآكل و الأملاح، قدرة جيدة على عزل الطبقات الجيولوجية و منع التسربات، قابلية ضخ جيدة داخل الفراغ الحلقي أثناء التسميت، مقاومة التشقق و الانكماش، زمن تصلب مناسب يسمح بتنفيذ عملية التسميت بأمان.

و لضمان نجاح عملية التسميت يجب أن تكون حسابات كمية الإسمنت داخل الفراغ الحلقي دقيقة و مضبوطة، و ذلك لتفادي نقص أو زيادة حجم ملاط الإسمنت أثناء الضخ.

و لهذا يتم أولاً حساب حجم الفراغ الحلقي بين جدران البئر و أنبوب التبطين، ثم تحديد الحجم الكلي لملاط الإسمنت مع إضافة نسبة احتياطية لضمان امتلاء الفراغ الحلقي بالكامل و تحقيق عزل جيد للطبقات الجيولوجية. ففي هاته المرحلة تم حساب السعة الحجمية للفراغ الحلقي كما يلي:

المعطيات:

• قطر الدقاقة (رأس الحفر): 36" (0.914 متر).

• قطر الأنبوب: 28" (0.711 متر).

• العمق: 72 م.

حساب مساحة الحفرة:

$$A_{tr} = \frac{\pi d_{tr}^2}{4} \quad \text{مساحة الدائرة تُحسب بالعلاقة:}$$

$$A_{tr} = \frac{3,14 \cdot (0,914)^2}{4} = 0,656 \text{m}^2$$

مساحة الحفرة = 0,656م².

حساب مساحة أنبوب التوجيه :

$$A_{csg} = \frac{\pi d_{csg}^2}{4} \quad \text{مساحة الدائرة تُحسب بالعلاقة:}$$

$$A_{csg} = \frac{3,14 \cdot (0,711)^2}{4} = 0,397 \text{m}^2$$

مساحة الأنبوب = 0,397م².

حساب مساحة الفراغ الحلقي:

مساحة الفراغ الحلقي = مساحة الحفرة - مساحة أنبوب التوجيه.

$$\text{مساحة الفراغ الحلقي} = 0,656 \text{م}^2 - 0,397 \text{م}^2 = 0,259 \text{م}^2.$$

حساب الحجم الكلي للفراغ الحلقي :

$$S = H \times V \quad \text{الحجم يُحسب بالعلاقة :}$$

*حيث: لدينا $H = 72 \text{ م}$.

$$\text{إذن } V = 0,259 \text{ م}^2 \times 72 \text{ م} = 18,69 \text{ م}^3.$$

ملاحظة :

يجب إضافة حجم احتياطي مقداره 15% (من الحجم المحسوب) و ذلك لتعويض الفواقد المحتملة لملاط الإسمنت أثناء عملية الضخ داخل البئر، و بالتالي ضمان امتلاء الفراغ الحلقي بالكامل و تحقيق تسميت فعال، و تعود أهمية هذه الزيادة إلى عدة أسباب، منها :

- احتمال توسع قطر الحفرة عن القطر النظري بسبب تآكل جدران البئر أثناء الحفر.
- ضياع جزء من الإسمنت داخل التكوينات الجيولوجية المسامية أو المتشققة.
- وجود تفاوتات و عدم انتظام في شكل الحفرة.
- تعويض الأخطاء المحتملة في الحسابات أو القياسات الميدانية .
- ضمان صعود الإسمنت إلى الارتفاع المطلوب داخل الفراغ الحلقي.

لذلك تُضاف نسبة احتياطية تتراوح عادة بين 10% و 20% حسب طبيعة التكوينات الجيولوجية و ظروف الحفر، و قد تم اعتماد نسبة 15% في هذه المرحلة لضمان جودة عملية التسميت.

$$\text{و منه: } V_{T1} = 18,69 \text{ م}^3 + (18,69 \text{ م}^3 \times 0,15) = 21,49 \text{ م}^3.$$

و بالتالي حجم ملاط الاسمنت اللازم لتسميت الأنبوب الأولي: $V_{T1} = 21,49 \text{ م}^3$.

حساب كميات الإسمنت و الماء المستعملة في عملية التسميت : (المرحلة الأولى)

بعد حساب الحجم الكلي للملاط الإسمنتي اللازم ملء الفراغ الحلقي في مختلف مراحل التسميت، تم الانتقال إلى حساب عدد أكياس الإسمنت و كمية الماء الضرورية لتحضير الملاط الإسمنتي المستعمل أثناء عملية التسميت.

تم اعتماد إسمنت من نوع HTS المقاوم لدرجات الحرارة المرتفعة، و المستعمل عادة في الآبار العميقة نظرا لقدرته على تحمل الضغوط و الظروف الحرارية العالية داخل البئر.

و من أجل إجراء الحسابات التطبيقية تم اعتماد القيم التقنية التقريبية التالية :

$$\bullet \text{ مردود الكيس الواحد من الإسمنت كيس/ } 0.038 \text{ م}^3 = Y$$

الفصل الرابع : الدراسة التطبيقية وحسابات التسميت الحالة النموذجية للبئر الألي _البرمي

سيدي عمران

و يمثل مردود الكيس الحجم النهائي للملاط الإسمنتي الناتج بعد خلط كيس واحد من الإسمنت بالماء و المواد المضافة، و قد تم اعتماد القيمة $0.038 \text{ م}^3/\text{كيس}$ باعتبارها قيمة تقنية تقريبية متداولة في عمليات تسميت الآبار باستعمال إسمنت HTS

• كمية الماء اللازمة لكل كيس إسمنت : $q = 22 \text{ لتر/كيس}$

و تمثل هذه القيمة كمية الماء الضرورية للحصول على ملاط إسمنتي يمتلك الكثافة و السيولة المناسبة لعملية الضخ داخل البئر، حيث تختلف هذه القيمة حسب نوع الإسمنت و ظروف البئر من حيث العمق و الضغط و درجة الحرارة.

العلاقات المستعملة في الحساب : لحساب عدد أكياس الإسمنت تم استعمال العلاقة التالية :

$$N = \frac{V}{Y}$$

حيث:

- N : عدد أكياس الإسمنت .
- V : الحجم الكلي للملاط الإسمنتي .
- Y : مردود الكيس الواحد .

أما كمية الماء اللازمة لتحضير الملاط الإسمنتي فتحسب بالعلاقة : $Q_w = N \times q$

حيث:

- Q_w : كمية الماء المستعملة .
- N : عدد أكياس الإسمنت .
- q : كمية الماء اللازمة لكل كيس .

لدينا : $V_1 = 21.49 \text{ م}^3$

$$N_1 = \frac{21.49}{0.038} = 566 \text{ كيس}$$

و بالتالي فإن كمية الماء المستعملة تساوي :

$$12452 = 22 \times 566 = Q_{w1} \text{ لتر}$$

أي ما يعادل تقريباً: 12.45 م³

1-2- المرحلة الثانية :

تمت مواصلة الحفر باستعمال دقاقة (رأس الحفر) قطرها 26 بوصة من العمق 72م إلى العمق 314م، بعدها تم إنزال أعمدة أنابيب التبطين المصنوعة وفق المواصفات المعيارية المعتمدة من المعهد الأمريكي للبترول و ضخ كمية من الملاط الإسمنتي في الفراغ الحلقي.

حساب حجم الملاط الإسمنتي اللازم لتسميت المرحلة الثانية (26") :

المعطيات:

• قطر الدقاقة (رأس الحفر) : 26" (0,660 متر).

• قطر أعمدة الأنابيب : 18"^{5/8} (0.473 متر).

• العمق: من 72 متر إلى 314 متر.

حساب مساحة الحفرة (المرحلة الثانية):

$$A_{tr} = \frac{\pi d_{tr}^2}{4} \text{ مساحة الدائرة تُحسب بالعلاقة:}$$

$$A_{tr} = \frac{3,14 \cdot (0,660)^2}{4} = 0,341 \text{ m}^2$$

مساحة الحفرة = 0,341 م².

حساب مساحة أنبوب التبطين (المرحلة الثانية) :

$$A_{csg} = \frac{\pi d_{csg}^2}{4} \text{ مساحة الدائرة تُحسب بالعلاقة:}$$

$$A_{csg} = \frac{3,14 \cdot (0,473)^2}{4} = 0,175 \text{ m}^2$$

مساحة الأنبوب = 0,175 م².

حساب مساحة الفراغ الحلقي (المرحلة الثانية) :

مساحة الفراغ الحلقي = مساحة الحفرة (المرحلة الثانية) - مساحة أنبوب التبطين (2).

$$\text{مساحة الفراغ الحلقي} = 0,341 \text{ م}^2 - 175,0 \text{ م}^2 = 0,166 \text{ م}^2.$$

حساب الحجم الكلي للفراغ الحلقي :

$$S_2 \times H_2 = V_2 \quad \text{الحجم يُحسب بالعلاقة :}$$

$$\bullet \text{ حيث: لدينا } H_2 = 314 - 72 = 242 \text{ م}.$$

$$\text{إذن: } V_2 = 0,166 \text{ م}^2 \times 242 \text{ م} = 40,17 \text{ م}^3.$$

كما هو معمول به يجب إضافة حجم (للأمان) بنسبة : 18%.

$$\text{و منه: } V_{T2} = 40,17 \text{ م}^3 + (40,17 \text{ م}^3 \times 0,18) = 47,4 \text{ م}^3.$$

و بالتالي حجم ملاط الاسمنت اللازم لتسميت أنابيب التبطين (المرحلة الثانية):

$$V_{2T} = 47,4 \text{ م}^3.$$

حساب كميات الإسمنت و الماء المستعملة في عملية التسميت: (المرحلة الثانية) :

$$\text{لدينا : } V_{2T} = 47,4 \text{ م}^3.$$

$$N_2 = \frac{47.4}{0.038} = 1247 \text{ كيس}$$

و بالتالي فإن كمية الماء المستعملة تساوي :

$$Q_{w2} = 22 \times 1247 = 27434 \text{ لتر}$$

أي ما يعادل تقريباً: 27.43 م³.

1-3- المرحلة الثالثة :

بعد الانتهاء من المرحلة الثانية تم الانتقال إلى المرحلة الثالثة و الأخيرة من الحفر، و التي تمثل

هدف الوصول إلى العمق النهائي للبئر و بلوغ النظام المائي الجوي و استغلال الطبقة المائية (مستقبلاً)

للألبو-بارمي.

حساب حجم الملاط الإسمنتي :

حساب حجم الملاط الإسمنتي اللازم لتسميت المرحلة الثالثة : $(17^{1/2})$:

المعطيات:

• قطر الدقاقة (رأس الحفر) : $17^{1/2}$ (0,444 متر).

• قطر أعمدة الأنايبب : $13^{3/8}$ (0.339 متر).

• العمق: من 314م إلى 1490متر.

حساب مساحة الحفرة (المرحلة الثالثة) :

مساحة الدائرة تُحسب بالعلاقة: $A_{tr} = \frac{\pi d_{tr}^2}{4}$

$$A_{tr} = \frac{3,14 \cdot (0,444)^2}{4} = 0,154m^2$$

مساحة الحفرة = 0,154م².

حساب مساحة أنبوب التبتين (المرحلة الثالثة) :

مساحة الدائرة تُحسب بالعلاقة: $A_{csg} = \frac{\pi d_{csg}^2}{4}$

$$A_{csg} = \frac{3,14 \cdot (0,339)^2}{4} = 0,09m^2$$

مساحة أنبوب التبتين (3) = 0,09م².

حساب مساحة الفراغ الحلقي 3:

مساحة الفراغ الحلقي = مساحة الحفرة (المرحلة الثالثة) - مساحة الأنبوب 3.

مساحة الفراغ الحلقي = 0,154م² - 0,09م² = 0,064م².

حساب الحجم الكلي للفراغ الحلقي :

الحجم يُحسب بالعلاقة : $S_3 \times H_3 = V_3$

حيث: لدينا $H_3 = 1490م - 314م = 1176م$.

إذن: $V_3 = 0,064م^2 \times 1176م = 75,264م^3$.

الفصل الرابع : الدراسة التطبيقية وحسابات التسميت الحالة النموذجية للبئر الألي _ البرمي

سيدي عمران

و لمبدأ الأمان يجب إضافة نسبة احتياطية: 18%.

$$V_{T3} = 75,264^3 + (0,18^3 \times 75,264^3) = 88,811^3 \text{ م}^3$$

و بالتالي حجم ملاط الاسمنت اللازم لتسميت أنابيب التبطين (المرحلة الثالثة) :

$$V_{T3} = 88,811^3 \text{ م}^3$$

حساب كميات الإسمنت و الماء المستعملة في عملية التسميت:(المرحلة الثالثة) :

$$V_{3T} = 88.811^3 \text{ م}^3 \text{ لدينا :}$$

$$N_2 = \frac{88.811}{0.038} = 2337 \text{ كيس}$$

و بالتالي فإن كمية الماء المستعملة تساوي :

$$Q_{W3} = 22 \times 2337 = 51414 \text{ لتر}$$

أي ما يعادل تقريباً: 51.41 م³.

جدول (IV-01) تلخيص كميات الإسمنت و الماء المستعملة في مراحل التسميت

المرحلة	حجم المالاظ الإسمنتي (م ³)	عدد أكياس الإسمنت HTS	كمية الماء (لتر)	كمية الماء (م ³)
المرحلة الأولى	21.49	566	12452	12.452
المرحلة الثانية	47.4	1247	27434	27.434
المرحلة الثالثة	88.811	2337	51414	51.414
المجموع	157.701	4150	91300	91.300

المصدر : إعداد الطالبين اعتماداً على الحسابات التطبيقية للبئر و الخصائص التقنية لإسمنت HTS المستعمل في عملية التسميت.

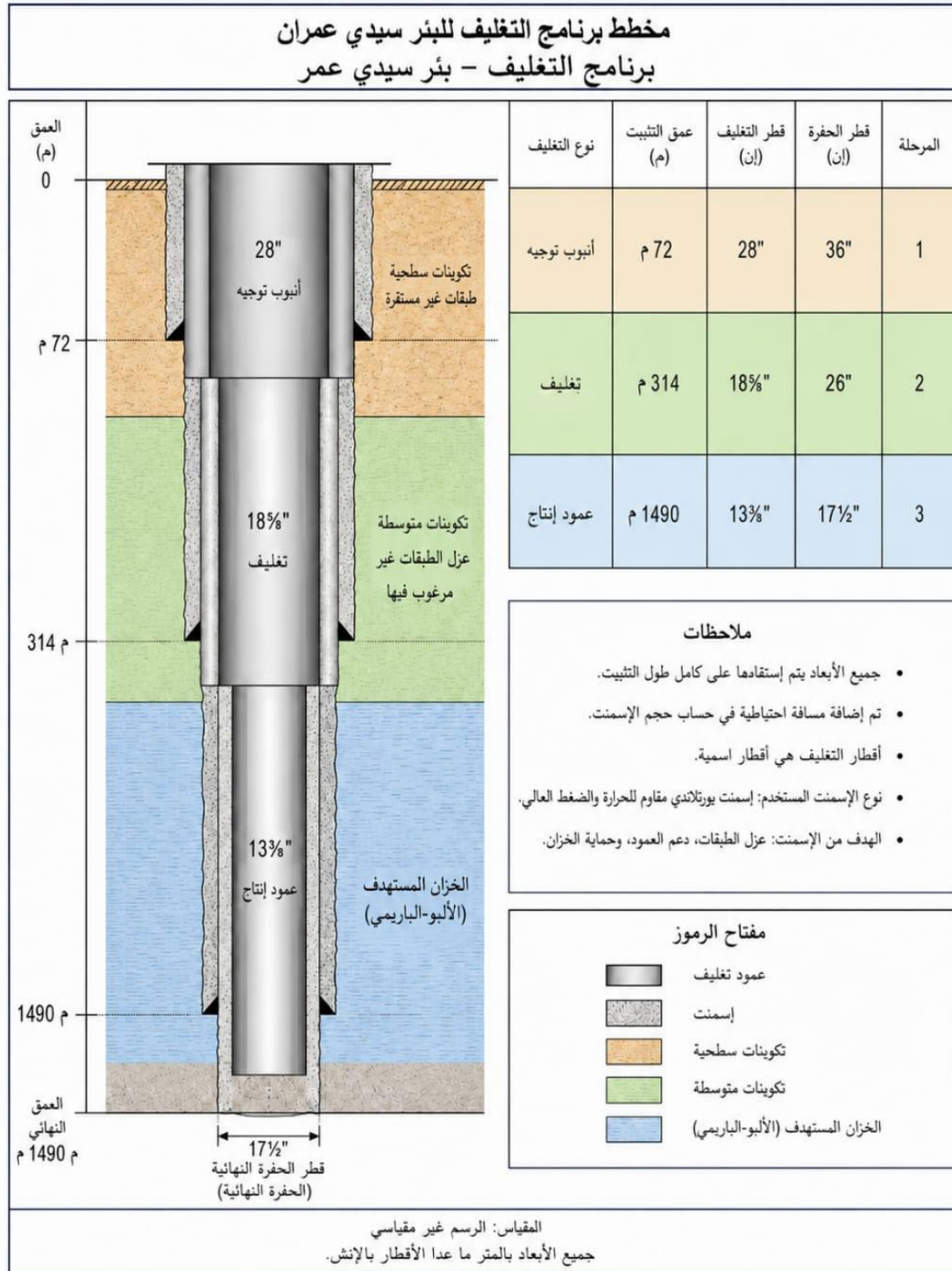
في الشكل المبين أسفله (أنظر شكل IV-01) نلاحظ المخطط البياني للهيكل النهائي للبئر الذي سيستغل مياه النظام الألبو-بارمي و الذي نوضح من خلاله مراحل الحفر الثلاث، أقطار التغليف، أعماق التثبيت، مناطق التسميت، و التكوينات الجيولوجية الرئيسية المتواجدة. و يُعتبر هذا الرسم البياني ملخصاً بصرياً شاملاً لكل العمليات التقنية التي تمت خلال إنشاء البئر، كما يُبرز بشكل واضح التصميم الهندسي المعتمد و النتيجة النهائية لعمليات الحفر، التغليف و التسميت.

ملاحظة :

تجدر الإشارة إلى أنه لم يتم تركيب المصفاة، و ذلك بسبب تعطل في التموين لتعذر استيرادها من الخارج في الوقت المحدد، نتيجة بعض الصعوبات المتعلقة بإجراءات التموين و التوريد. و قد حال ذلك دون استكمال عملية التجهيز النهائي للبئر و وضعه قيد الخدمة رغم الانتهاء من العمليات كلها (الحفر، التبطين، التسميت.....).

الفصل الرابع : الدراسة التطبيقية وحسابات التسميت الحالة النموذجية للبئر الألي _ البرمي

سيدي عمران



الشكل IV - 01: مخطط برنامج حفر، تغليف و تسميت البئر العميقة سيدي عمران.

خلاصة :

تمت عمليات الحفر على ثلاث مراحل لإنجاز البئر، حيث تم الوصول إلى العمق النهائي و التسميت باستعمال إسمنت عالي المقاومة (للحرارية و للضغط)، و إنزال عمود الإنتاج. و قد ساهمت الحسابات الدقيقة لكميات الإسمنت في ضمان عزل الطبقات الجيولوجية وتثبيت أنابيب التبطين بشكل جيد، مما يضمن سلامة البئر واستمرارية عملية الاستغلال (مستقبلاً) عند وضعه قيد الإنتاج.

خاتمة

خاتمة :

تُعدّ عملية حفر الآبار و تسميتها من أهم الإجراءات الهندسية المعتمدة في استغلال الموارد المائية الجوفية و النفطية، لما لها من دور أساسي في ضمان سلامة الآبار و استقرارها و تحقيق العزل بين الطبقات الجيولوجية المختلفة. و من هذا المنطلق جاءت هذه الدراسة لتسليط الضوء على الجوانب التقنية المرتبطة بعمليات الحفر و التسميت، مع تطبيق عملي على مشروع حفر بئر بسيدي عمران باعتباره نموذجاً ميدانياً يعكس مختلف المراحل الهندسية المعتمدة في إنجاز الآبار العميقة.

في الجانب النظري، تم التطرق إلى المبادئ الأساسية لعمليات الحفر، من خلال التعريف بمختلف الأنظمة و المعدات الضرورية لذلك، و شرح وظائفها و أهميتها أثناء إنجاز الآبار، إضافة إلى استعراض أهم تقنيات الحفر المستعملة في الآبار العميقة. كما تم التطرق بالتفصيل إلى عملية التسميت، باعتبارها مرحلة أساسية في تثبيت أنابيب التبطين و عزل الطبقات الجيولوجية و حماية المنشأة من مشاكل التسرب و الانهيارات و التلوث المائي.

أما في الجانب التطبيقي، فقد تم تحليل المراحل المختلفة لإنجاز بئر سيدي عمران، بدءاً من مراحل الحفر، مروراً بإنزال أنابيب التبطين، وصولاً إلى عمليات التسميت المنجزة في كل مرحلة. كما تم إجراء الحسابات الهندسية الخاصة بحجم الملاط الإسمنتي داخل الفراغ الحلقي، مع توضيح كيفية حساب كميات الإسمنت اعتماداً على أقطار الحفر و التغليف و أعماق التثبيت، إضافة إلى دراسة العوامل المؤثرة في اختيار نوع الإسمنت المناسب للبئر، خاصة في ظل الظروف الجيولوجية و الحرارية الخاصة بالمنطقة.

تم إنجاز البئر على ثلاث مراحل:

♣ المرحلة الأولى : تم حفرها بدقاقة قطرها 36" (0.914 متر) و تم تبطينها بأنبوب قطره : 28" (0.711 متر).

♣ المرحلة الثانية : تم حفرها بدقاقة قطرها 26" (0,660 متر) و تبطينها بأنابيب قطرها : 18"^{5/8} (0.473 متر).

♣ المرحلة الثالثة : استعملنا فيها دقاقة ذات قطر : 17"^{1/2} (0,444 متر) و أعمدة تبطين : 13"^{3/8} (0.339 متر).

و تبين من خلال هاته العمليات الحسابية استهلاك أحجام معتبرة من المواد الأساسية خاصة، حيث تم استهلاك ما يلي:

ما لا يقل عن 157,701 م³ من ملاط الاسمنت.

مما استدعى استعمال 4150 كيس اسمنت.

احتجنا في ذلك إلى حجم 91.3 م³ من ماء الخلط.

و قد أظهرت هذه الدراسة أن نجاح عملية الإسمنتة لا يعتمد فقط على ضخ الملاط الإسمنتي داخل البئر، بل يرتبط بمجموعة من العوامل التقنية و الهندسية، أهمها حسن تصميم برنامج التغليف، و الاختيار المناسب لنوع الإسمنت و المواد المضافة، و الدقة في الحسابات الهندسية، إضافة إلى التحكم الجيد في ظروف الحفر و التنفيذ الميداني.

كما أبرزت الدراسة أهمية الإسمنتة في ضمان العزل الهيدروليكي بين الطبقات، و حماية المياه الجوفية، و المحافظة على استقرار البئر خلال مختلف مراحل الاستغلال، مما يجعلها من أكثر العمليات حساسية و تأثيراً على العمر الإنتاجي للمنشأة و كفاءتها التشغيلية.

يمكن القول إن هذه الدراسة مكّنت من الربط بين الجانب النظري و التطبيقي لعمليات الحفر و التسميت، و أسهمت في تعزيز الفهم الهندسي لمختلف المراحل التقنية المتعلقة بإنجاز الآبار العميقة، مع إبراز التحديات الميدانية التي قد تواجه عمليات التنفيذ، و أهمية الالتزام بالمعايير التقنية الحديثة لضمان نجاح عمليات الحفر والتسميت وتحقيق أفضل مردود تقني واستغلالي للبئر.

المراجع

قائمة المراجع:

1. التقرير التقني لمشروع بئر سيدي عمران (2026).
2. بيانات الوكالة الوطنية للموارد المائية (ANRH).
3. مخططات شركة "مجموعة كروشي" المنفذة للأشغال.
4. وزارة السياحة والصناعة التقليدية – مديرية السياحة والصناعة التقليدية – المغرب.

المراجع العربية :

1. أحمد زكي، هندسة حفر الآبار البترولية، دار الكتب العلمية، القاهرة، مصر، 2015 .
2. بلقاسم قادة، تقنيات حفر وتجهيز آبار المياه، ديوان المطبوعات الجامعية، الجزائر، 2016 .
3. عبد القادر بوزيان، الهيدروجيولوجيا واستغلال المياه الجوفية في المناطق الصحراوية، منشورات جامعة قاصدي مرباح ورقلة، الجزائر، 2019 .
4. محمد عبد الحميد، أساسيات حفر الآبار وتجهيزها، دار الفكر العربي، القاهرة، مصر، 2018 .

المراجع الأجنبية المترجمة :

1. Applied Drilling Engineering بورغوين، أ. ت. وآخرون، الهندسة التطبيقية لحفر الآبار، جمعية مهندسي البترول، تكساس، الولايات المتحدة الأمريكية، 1986 .
2. Drilling Engineering أزار، ج. ج. وصامويل، ج. ر.، هندسة الحفر، شركة بنويل للنشر، أوكلاهوما، الولايات المتحدة الأمريكية، 2007 .
3. Well Cementing نيلسون، إ. ب. وغيتو، د.، إسمنت الآبار، الطبعة الثانية، شلمبرجير، تكساس، الولايات المتحدة الأمريكية، 2006 .
4. Drilling Technology in Nontechnical Language ديفيرو، ستيف، تكنولوجيا الحفر بلغة غير تقنية، شركة بنويل للنشر، أوكلاهوما، الولايات المتحدة الأمريكية، 1999 .
5. American Petroleum Institute مواصفة المعهد الأمريكي للبترول API 10A الخاصة بالإسمنت والمواد المستعملة في إسمنت الآبار، المعهد الأمريكي للبترول، واشنطن، الولايات المتحدة الأمريكية .

6. American Petroleum Institute الممارسة الموصى بها API 10B الخاصة

باختبار إسمنت الآبار، المعهد الأمريكي للبترول، واشنطن، الولايات المتحدة الأمريكية .

7. Agence Nationale des Ressources Hydrauliques تقارير

هيدروجيولوجية حول الخزان القاري المتداخل والألبو-الباريمي في الصحراء الشمالية الجزائرية،
الجزائر .

8. UNESCO، تقارير نظام الخزان الجوفي لشمال غرب الصحراء، منشورات منظمة اليونسكو.

9. SONATRACH وثائق تقنية متعلقة بحفر وإسمنت الآبار العميقة، الجزائر.

المراجع الإلكترونية :

1. قاموس شلمبرجير للمصطلحات النفطية.

2. الموقع الرسمي لشركة هالبرتون.

3. الموقع الرسمي لشركة بيكر هيوز.

4. برنامج جوجل إيرثبرو.

5. الموقع الرسمي للمعهد الأمريكي للبترول API.

ملخص : تتناول هذه المذكرة دراسة تقنية لمراحل إنجاز بئر عميقة الألبياالبارمي بسيدي عمران ولاية المغير ، بداية من عمليات الحفر وصولاً إلى عمليات التغليف والتسميت، مع التركيز على أهمية الإسمنت في ضمان استقرار البئر وعزل الطبقات الجيولوجية المختلفة. وقد تم التطرق إلى مختلف تقنيات الحفر المستعملة، وأنواع سوائل الحفر، إضافة إلى دراسة معدات وآلات التسميت المستعملة أثناء إنجاز البئر. كما تضمنت الدراسة حسابات تطبيقية تخص أحجام الفراغ الحلقي، وكميات المالاظ الإسمنتي اللازمة لكل مرحلة من مراحل التسميت، إضافة إلى حساب عدد أكياس الإسمنت وكميات الماء المستعملة اعتماداً على إسمنت من نوع HTS المقاوم لدرجات الحرارة المرتفعة. وأظهرت النتائج أن نجاح عملية التسميت يعتمد بصورة كبيرة على الدقة في الحسابات الهندسية، وحسن اختيار نوع الإسمنت، والتحكم في خصائص المالاظ الإسمنتي أثناء عملية الضخ، لما لذلك من دور أساسي في حماية البئر وضمان استمرارية استغلاله في ظروف آمنة.

الكلمات المفتاحية : البئر المائي، الحفر، التغليف، التسميت، الإسمنت HTS ، المالاظ الإسمنتي، الفراغ الحلقي.

Abstract :

This dissertation presents a technical study of the stages involved in the construction of a deep Albien-Barremian well located in Sidi Amrane, El M'Ghair Province, starting from drilling operations through casing and cementing activities. Particular emphasis is placed on the importance of cementing in ensuring well integrity and isolating the different geological formations. The study discusses the various drilling techniques employed, the types of drilling fluids used, as well as the equipment and machinery involved in the cementing operations during well construction.

The study also includes practical calculations related to annular volumes, the quantities of cement slurry required for each cementing stage, and the determination of the number of cement bags and water volumes needed, based on the use of High Temperature Service (HTS) cement designed for high-temperature conditions.

The results demonstrate that the success of cementing operations largely depends on the accuracy of engineering calculations, the appropriate selection of cement type, and the control of cement slurry properties during pumping operations. These factors play a fundamental role in protecting the well and ensuring its long-term safe exploitation.

Keywords: borehole, casing, cementing, HTS cement, cement slurry, annular space.

Résumé :

Ce mémoire présente une étude technique des différentes étapes de réalisation d'un forage profond Albien-Barrémien situé à Sidi Amrane, wilaya d'El M'Ghair, depuis les opérations de forage jusqu'aux travaux de tubage et de cimentation. Une attention particulière est accordée à l'importance de la cimentation pour assurer la stabilité du puits et l'isolation des différentes formations géologiques. L'étude aborde les diverses techniques de forage utilisées, les types de fluides de forage ainsi que les équipements et les machines employés lors des opérations de cimentation.

L'étude comprend également des calculs appliqués relatifs aux volumes de l'espace annulaire, aux quantités de coulis de ciment nécessaires pour chaque phase de cimentation, ainsi qu'au calcul du nombre de sacs de ciment et des volumes d'eau requis, en utilisant un ciment de type HTS résistant aux hautes températures.

Les résultats montrent que la réussite des opérations de cimentation dépend largement de la précision des calculs d'ingénierie, du choix approprié du type de ciment et du contrôle des propriétés du coulis de ciment pendant le pompage. Ces éléments jouent un rôle essentiel dans la protection du puits et dans la garantie de son exploitation durable dans des conditions de sécurité optimales.

Mots-clés : forage, tubage, cimentation, ciment HTS, laitier de ciment, espace annulaire.